

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Dopravní technika a technologie

Charakteristiky Brzdového Systému Automobilu

Automobile Brake System Characteristics

Student:

Bc. Matěj Kupčík

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Michal Richtář Ph. D.

Ostrava 2021

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Matěj Kupčík**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T003 Dopravní technika a technologie
Specializace: 20 Silniční doprava
Téma: Charakteristiky brzdového systému automobilu
Automobile Brake System Characteristics
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem práce návrh a realizace metodiky ověření jízdních charakteristik vozidla a vyhodnocení výsledků.

Postup řešení:

1. Úvod.
2. Rozbor problému.
3. Návrh experimentu.
4. Vyhodnocení výsledků.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

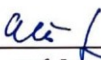
Vlk, F., Dynamika motorových vozidel. 1. vyd. Brno: VLK, 2000. 434 s. ISBN 80-238-5273-6.
Limpert, R., Brake Design and Safety. 2nd Edition, SAE International, 1999, Warrendale.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Michal Richtář, Ph.D.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020


prof. Ing. Ateš Sliva, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou*) práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на ве́домі́, že podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne

.....

Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce: Matěj Kupčík

Adresa trvalého pobytu autora práce: Sušilova 10, Opava, 74601

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá analýzou problematiky brzdění vozidel, a to především těžkých užitkových vozidel. Konkrétně je práce věnována vozidlům hasičského typu. V úvodu se práce věnuje všeobecnému přehledu a rozdělení brzdových systémů a funkcí brzd. V této části práce je také popis a schémata.

Dále se práce věnuje technickému popisu testovaných vozidel. Jednalo se o tři různé typy vozidel. Následuje výpočet těžiště vozidla. V této části práce je uveden i popis použité techniky při měření a testování. V dalších kapitolách práce je uveden stručný popis legislativy a předpisu EHK 13 H a teorie k chybám, které vznikají při každém měření.

Závěr práce je věnován zpracování a analýze naměřených dat. Porovnává se zde numericky určená hodnota legislativou a předpisy se skutečně naměřenou brzdou dráhou a brzdným zpomalením. Také jsou zde porovnávány jednotlivé typy vozidel mezi sebou.

Abstract

This diploma thesis deals with the analysis of the problem of braking vehicles, especially heavy commercial vehicles. Specifically, the work is devoted to fire trucks. In the introduction, the work deals with a general overview and division of brake systems and brake functions. There is also a description and diagrams in this part of the work.

Furthermore, the work deals with the technical description of the tested vehicles. There were three different types of vehicles. The vehicle's center of gravity is then calculated. In this part of the work there is also a description of the technique used in measurement and testing. The following chapters provide a brief description of the legislation and regulation EHK 13 H and the theory of errors that occur during each measurement.

The conclusion of the work is devoted to the processing and analysis of measured data. Here, the numerically determined value by legislation and regulations is compared with the actual measured braking distance and braking deceleration. The individual types of vehicles are also compared here.

Klíčová slova

Brzdová soustava, brzdy, zkoušení brzd, brzdná dráha, brzdné zpomalení, podélné naklopení, analýza

Keywords

Brake system, brakes, brake testing, braking distance, braking deceleration, longitudinal tilt, analysis

Obsah

| | |
|---|----|
| Seznam Obrázků..... | 9 |
| Seznam Tabulek | 11 |
| Seznam použitých zkratk..... | 12 |
| 1. Úvod | 13 |
| 2. Brzdy..... | 14 |
| 2.1. Funkce Brzdové soustavy | 14 |
| 2.1.1. Rozdělení brzdové soustavy podle zdroje energie ² | 15 |
| 2.2. Konstrukce brzd | 15 |
| 2.2.1. Kapalinové brzdy | 15 |
| 2.2.2. Vzduchotlaké brzdy | 16 |
| 2.2.3. Dvouokruhová vzduchotlaká soustava | 16 |
| 2.3. Kolové brzdy..... | 19 |
| 2.3.1. Kotoučová brzda | 19 |
| 2.3.2. Bubnová brzda | 20 |
| 3. Technické specifikace..... | 23 |
| 3.1. Testované vozidlo | 23 |
| 3.2. Rozměry a hmotnosti | 24 |
| 3.2.1. Motor | 24 |
| 3.2.2. Spojka a převodový agregát | 24 |
| 3.2.3. Nápravy | 25 |
| 3.2.4. Brzdy..... | 25 |
| 3.2.5. Pneumatiky, disky: | 25 |
| 4. Těžiště Tatry T 815 – 231R55 19.325.4x4.2/410 | 26 |
| 4.1. Podélná poloha těžiště:..... | 27 |
| 4.2. Příčná poloha těžiště..... | 29 |
| 4.2.1. Přední náprava: | 29 |
| 4.2.2. Zadní náprava:..... | 29 |
| 4.3. Svislá poloha těžiště | 31 |
| 5. RaceLogic Vbox 3i..... | 33 |
| 5.1. Vstupy: | 33 |
| 5.2. Výstupy:..... | 34 |
| 5.3. Parametry:..... | 35 |

| | | |
|---------|---|----|
| 5.4. | Specifikace..... | 36 |
| 6. | Zkoušky brzdění..... | 39 |
| 6.1. | Všeobecná ustanovení | 39 |
| 6.2. | Všeobecné podmínky pro zkoušku typu 0 | 40 |
| 7. | Nejistota měření | 44 |
| 7.1. | Standartní nejistota typu A | 44 |
| 7.2. | Standartní nejistota typu B | 46 |
| 7.3. | Kombinovaná nejistota | 47 |
| 7.4. | Ukázka výpočtu nejistot | 48 |
| 8. | Průběh experimentu a měření | 50 |
| 9. | Pracovní prostředí Driftbox Tools | 51 |
| 10. | Brzdná dráha | 58 |
| 10.1. | Porovnání brzdné dráhy – prázdné vs plné vozidlo | 60 |
| 10.1.1. | Vozidlo 4x4 – bubnová brzda | 60 |
| 10.1.2. | Vozidlo 4x4 – kotoučová brzda | 61 |
| 10.1.3. | Vozidlo 6x6 – bubnová brzda | 62 |
| 10.2. | Brzdná dráha – prázdná vozidla | 63 |
| 10.3. | Brzdná dráha – plná vozidla | 64 |
| 11. | Brzdné zpomalení..... | 65 |
| 11.1. | Porovnání brzdného zpomalení – prázdné vs plné vozidlo..... | 66 |
| 11.1.1. | Vozidlo 4x4 – bubnová brzda | 66 |
| 11.1.2. | Vozidlo 4x4 – kotoučová brzda | 67 |
| 11.1.3. | Vozidlo 6x6 – bubnová brzda | 68 |
| 12. | Naklopení vozidla | 69 |
| 12.1. | Vozidlo 4x4 – bubnová brzda | 69 |
| 12.2. | Vozidlo 4x4 – kotoučová brzda | 70 |
| 12.3. | Vozidlo 6x6 – bubnová brzda | 71 |
| 12.4. | Porovnání maximálního naklopení vozidel | 72 |
| 13. | Závěr..... | 73 |
| 14. | Seznam použité literatury | 75 |
| 15. | Poděkování..... | 76 |

Seznam Obrázků

| | |
|---|----|
| Obr.1 – schéma zapojení brzdové soustavy..... | 16 |
| Obr. 2 – schéma dvouokruhové vzduchotlaké soustavy ³ | 17 |
| Obr. 3 – typy třmenu kotoučových brzd ³ | 20 |
| Obr. 4 – bubnová brzda..... | 21 |
| Obr. 5 – uchycení čelisti bubnové brzdy | 21 |
| Obr. 6 – smysl působení třecí síly u bubnové brzdy..... | 22 |
| Obr. 7 – testované vozidlo | 23 |
| Obr. 8 – rozměry testovaného vozidla | 23 |
| Obr. 9 – rozměry vozidla pro výpočet těžiště | 26 |
| Obr. 10 – podélná poloha těžiště..... | 27 |
| Obr. 11 – příčná poloha těžiště | 29 |
| Obr. 12 – výpočet na základě podobnosti trojúhelníku | 30 |
| Obr. 13 – svislá poloha těžiště | 31 |
| Obr. 14 – schéma připojení měřícího přístroje | 33 |
| Obr. 15 – schéma konektorů měřícího přístroje | 34 |
| Obr. 16 – schéma konektorů měřícího přístroje | 35 |
| Obr. 17 – specifikace měřícího přístroje | 36 |
| Obr. 18 – schéma střešního držáku a antén | 38 |
| Obr. 19 – střešní držák v praxi..... | 38 |
| Obr. 20 – graf brzdného zpomalení všech vozidel | 42 |
| Obr. 21 – graf brzdné dráhy všech vozidel..... | 43 |
| Obr. 22 - hustota normálního rozdělení pravděpodobnosti..... | 45 |
| Obr. 23 – výpočet nejistot v programu Excel | 48 |
| Obr. 24 – mapa polygonu Libros Ostrava s.r.o..... | 50 |
| Obr. 25 – uživatelské prostředí programu DriftBox Tools | 52 |
| Obr. 26 – přiblížení jednoho z brzných úkonů | 52 |
| Obr. 27 – export dat do Excelu..... | 53 |
| Obr. 28 – export dat do excelu | 53 |
| Obr. 29 – vyexportované neupravené data v Excelu | 54 |
| Obr. 30 – souhrnná tabulka všech výsledků | 57 |
| Obr. 31 – graf porovnání brzdných drah jednotlivých vozidel..... | 58 |

| | |
|--|----|
| Obr. 32 – graf porovnání brzdné dráhy plného a prázdného 4x4 vozidla (bubnové brzdy) | 60 |
| Obr. 33 – graf porovnání brzdné dráhy plného a prázdného 4x4 vozidla (kotoučové brzdy) ... | 61 |
| Obr. 34 – graf porovnání brzdné dráhy plného a prázdného 6x6 vozidla (bubnové brzdy) | 62 |
| Obr. 35 – graf porovnání brzdných drah prázdných vozidel | 63 |
| Obr. 36 – graf porovnání brzdných drah plných vozidel | 64 |
| Obr. 37 – graf porovnání brzdného zpomalení | 65 |
| Obr. 38 – graf porovnání brzdného zpomalení vozidla 4x4 s bubnovými brzdami | 66 |
| Obr. 39 – graf porovnání brzdného zpomalení vozidla 4x4 (bubnová brzda)..... | 67 |
| Obr. 40 – graf porovnání brzdného zpomalení vozidla 6x6 | 68 |
| Obr. 41 – graf průběhu naklopení vozidla 4x4 s bubnovými brzdami při brzdění | 69 |
| Obr. 42 – graf průběhu naklopení vozidla 4x4 s kotoučovými brzdami při brzdění | 70 |
| Obr. 43 – graf průběhu naklopení vozidla 6x6 s bubnovými brzdami při brzdění | 71 |
| Obr. 44 – grafické znázornění maximálního naklopení vozidla při brzdění | 72 |

Seznam Tabulek

| | |
|--|----|
| Tabulka 1 – rozměry a hmotnosti testovaného vozidla | 24 |
| Tabulka 2 – rozměry pneumatik a disků | 25 |
| Tabulka 3 - Statické zatížení | 27 |
| Tabulka 4 – Zatížení při zvedání jedné nápravy | 28 |
| Tabulka 5 – Hodnoty pro výpočet výšky těžiště..... | 32 |
| Tabulka 6 – odchylky v závislosti antén na střeše vozidla..... | 37 |
| Tabulka 7 – brzdné dráhy testovaných vozidel | 42 |
| Tabulka 8 – naklopení vozidla | 72 |

Seznam použitých zkratk

DP – diplomová práce

SCR – Seletive Catalytic Reduction – systém pro aktivní regulaci emisí

ABS – Anti-lock Braking System – systém proti zablokování kol při brzdění

GLONASS – satelitní navigační systém

USB – Universal Serial Bus – typ konektoru pro přenos informací

CAN – Controller Area Network – typ konektoru pro přenos informací

PC – Personal Computer – osobní počítač, notebook

CF karta – Compact Flash – paměťová karta

DA – Dual Antenna – dvojitá anténa

1. Úvod

Brzdová soustava patří mezi nejdůležitější prvky aktivní bezpečnosti každého vozidla. Zajišťuje zpomalení vozidla a také jej zajišťuje proti samovolnému pohybu. Většina brzdových soustav pracuje na principu zvětšování odporu tření a přeměny této třecí energie na tepelnou. Minimální potřebnou efektivitu tohoto děje určuje předpis EHK 13-H. Tento předpis udává, jaké maximální vzdálenosti a s jakým minimálním brzdným zpomalením musí vozidlo dosáhnout, aby s ním bylo bezpečné vyrazit na pozemní komunikaci.

V mé diplomové práci se budu věnovat měření a analýze dat hasičských vozidel tří různých typů. Prvním vozidlem bylo nákladní hasičské vozidlo s pohonem na všechny 4 kola, které bylo vybaveno bubnovými brzdami. Tento typ vozidla bývá v běžném provozu používán nejčastěji spolu s druhým typem vozidla, kterým bylo rovněž hasičské nákladní vozidlo s pohonem na 4 kola, které ale bylo vybaveno brzdami kotoučovými. Posledním zkoumaným typem vozidla bylo nákladní hasičské vozidlo s pohonem 6 kol, které bylo vybaveno brzdami bubnovými. U každého typu vozidla byla při měření na polygonu změřena brzdná dráha a brzdné zpomalení. Tyto data jsem zpracoval a následně je porovnal s předpisem EHK 13-H a také jsem vozidla porovnal mezi sebou.

Cílem práce je vyhodnotit brzdné dráhy a brzdné zpomalení vozidel, porovnat výsledky s předpisem EHK a porovnat jednotlivá vozidla mezi sebou. Věnovat se budu také naklopení vozidel při brzdícím úkonu.

2. Brzdy

2.1. Funkce Brzdové soustavy

Brzdná soustava patří mezi nejdůležitější součásti vozidla z hlediska bezpečnosti silničního provozu. Má za úkol v případě potřeby snížit rychlost vozidla, úplně vozidlo zastavit nebo zajistit již stojící vozidlo proti samovolnému pohybu ve svahu nebo na rovině. Každé motorové vozidlo musí být vybaveno nejméně dvěma na sobě nezávislými brzdovými soustavami s předepsaným účinkem. Ovládání brzd bývá nejčastěji mechanické, hydraulické nebo pneumatické. Brzdného účinku se pak dosahuje za pomoci úmyslného tření mezi pevnými a rotujícími částmi brzdy. Dochází zde k principu přeměny kinetické energie na jinou, nejčastěji tepelnou energii, která je následně odváděna do okolí.

Rozdělení brzdové soustavy podle účelu použití¹

Provozní brzda – soubor prvků umožňující řidiči, přímo či nepřímo, zpomalit nebo zastavit jednocí vozidlo ve všech režimech jízdy. Působí na všechna kola vozidla, nebo soupravy a má obvykle nožní ovládání. Přičemž se vozidlo při brzdění nesmí odchýlit z přímého směru. Účinek provozní brzdy musí být odstupňovatelný.¹

Parkovací brzda – soubor prvků umožňující řidiči zabezpečit mechanicky vozidlo proti pohybu, zejména za nepřítomnosti řidiče. Působí jenom na některá kola vozidla nebo soupravy. Ovládání bývá obvykle ruční.¹

Pomocná brzda – tzv. odlehčovací, slouží ke snížení rychlosti vozidla podle potřeby (zejména při sjíždění dlouhých svahů) a to bez použití brzdy provozní, nouzové nebo parkovací. Může také podporovat účinek provozní brzdy.¹

Nouzová brzda – Soubor prvků umožňující řidiči, přímo či nepřímo, zpomalit nebo zastavit vozidlo při selhání provozní brzdy. Působí jenom na určitá kola vozidla nebo soupravy a to vždy minimálně na jedno kolo z každé strany. Soustava nemusí být samostatná, ale může se jednat o neporušený okruh dvouokruhových provozních brzd nebo parkovací brzdy.¹

Samočinná brzda – Soubor prvků, které samočinně zabrzdí přípojně vozidlo při jeho úmyslném nebo neúmyslném odpojení.¹

2.1.1. Rozdělení brzdové soustavy podle zdroje energie²

Přímočinná brzdová soustava – Brzdná síla je vytvářena vlastní silou řidiče. Tato síla je z brzdového pedálu nebo páky přenášena mechanickým nebo hydraulickým převodem na kola vozidla.²

Polostrojní brzdová soustava – Pokud je síla vyvolaná řidičem nedostatečná, může být posílena podtlakovým nebo hydraulickým posilovačem.²

Strojní brzdová soustava – Brzdný účinek je vyvolán jiným zdrojem energie (vzduchem, kapalinou nebo kombinací), který řidič pouze ovládá.²

Nájezdová brzdová soustava – brzdový účinek je vyvolán přiblížením přívěsu k jeho taženému vozidlu²

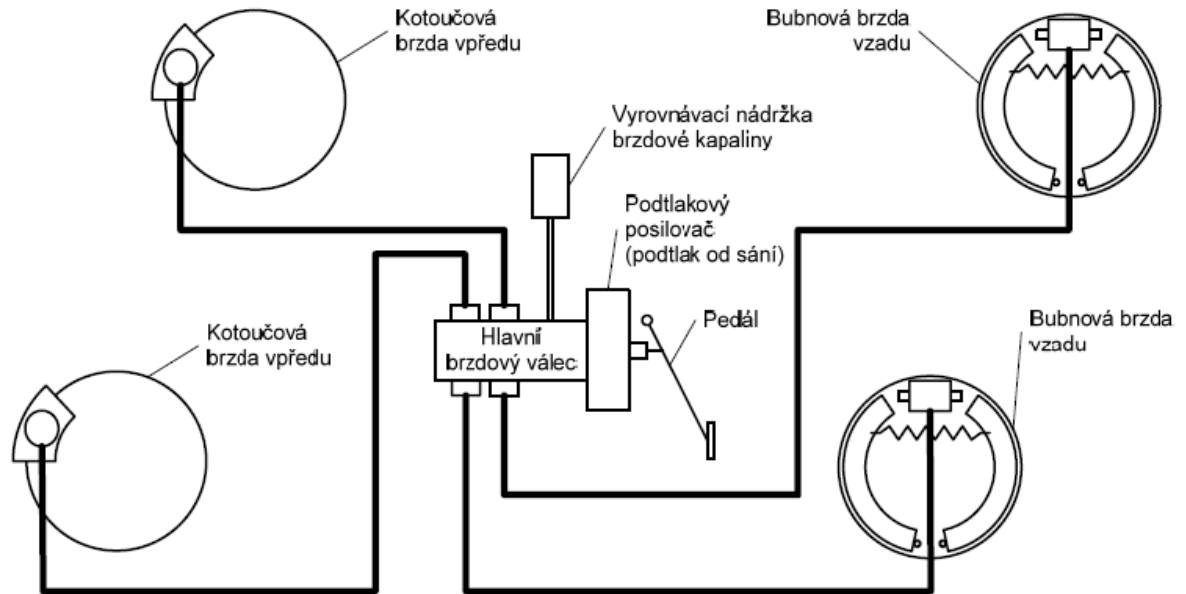
2.2. Konstrukce brzd

2.2.1. Kapalinové brzdy

Kapalinová brzdová soustava je využita nejvíce u malých užitkových automobilů, tedy dodávek a minibusů a hlavně u osobních automobilů. Její výhodou je to, že je jednoduchá a má nízké nároky a s tím spojené náklady na údržbu. Na obrázku níže je znázorněna takováto soustava. Jedná se o hydraulickou brzdovou soustavu s hydraulickým převodem a podtlakovým posilovačem určenou pro osobní automobily. Když začne řidič působit silou na brzdový pedál, vznikne v hlavním brzdovém válci tlak, který je poté posílen posilovačem. Brzdová kapalina tak proudí z vyrovnávací nádržky hadicemi a potrubím do brzdných válečků, které přitlačují brzdové čelisti na kotouče nebo bubny. Pokud bychom chtěli docílit zlepšení jízdních vlastností, bývají automobily vybaveny také omezovačem, který bývá nejčastěji umístěn na zadní nápravě, nebo regulátorem tlaku.

Hydraulická soustava je rozdělena do dvou na sobě nezávislých okruhů, které řidič ovládá dohromady za pomoci ovládacího orgánu – pedálu. Toto uspořádání je dáno legislativou

z důvodu bezpečnosti provozu vozidla. Pokud systém funguje správně, pracují oba systémy současně a jsou brzděna všechna kola vozidla. Pokud dojde k poruše jednoho z okruhů, je neporušeným okruhem zajištěno bezpečné zabrzdění vozidla.²



Obr.1 – schéma zapojení brzdové soustavy

2.2.2. Vzduchotlaké brzdy

Jsou nejčastěji využity u těžkých nákladních automobilů, autobusů a přípojných vozidel, protože k zabrzdění již nestačí pouze ovládací síla řidiče (nožní síla na pedálu). K vyvolání potřebného brzdného tlaku se pro tato vozidla používá strojní brzdové soustavy, která využívá k vytvoření potřebné brzdné síly jiného zdroje energie s vyloučením svalové síly řidiče. U vzduchotlaké brzdy se konkrétně používá kompresor.²

2.2.3. Dvouokruhová vzduchotlaká soustava

U vzduchotlakých brzd slouží fyzická síla řidiče působícího na brzdový pedál pouze k uvolnění energie stlačeného vzduchu, která je poté regulována a je použita k brzdění vozidla.²

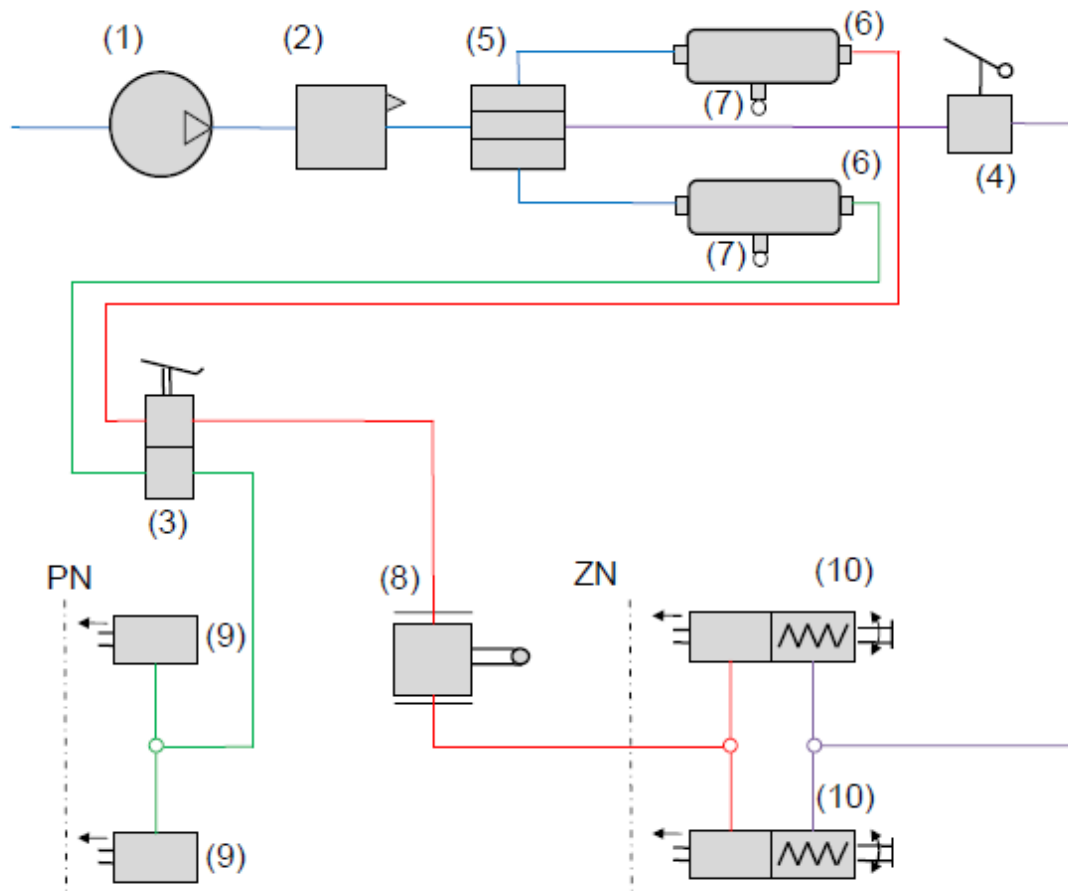
Hlavní části

Plnicí část – Zařízení, které slouží k vytvoření zásoby stlačeného vzduchu. Do této části patří kompresor, regulátor tlaku, čtyřokruhový pojistný ventil, dva vzduchojemy s odkalovacími ventily a tlakoměr.

Ovládací část – zařízení, která řídí brzdný účinek soustavy. K této části patří:

- Pedálový dvouokruhový brzdič
- Samočinný zátěžový regulátor tlaku
- Pružinové brzdové válce na zadní nápravě
- Jednoduché brzdové válce na přední nápravě
- Ovládací ventil parkovací brzdy

Brzdy – jako provozní a parkovací brzdy se používají třecí brzdy (kotoučové nebo bubnové)



Obr. 2 – schéma dvouokruhové vzduchotlaké soustavy³

- 1) kompresor
- 2) regulátor tlaku
- 3) dvouokruhový hlavní brzdíč
- 4) ovládací ventil parkovací brzdy
- 5) čtyřokruhový pojistný ventil
- 6) vzduchojem
- 7) odkalovací ventil
- 8) zátěžový regulátor brzdného tlaku
- 9) membránový brzdový válec
- 10) kombinovaný pružinový brzdový válec

(PN) – přední náprava

(ZN) – zadní náprava

— Společný okruh

— brzdový okruh

— brzdový okruh

— okruh parkovací brzdy

Popis činnosti

Plnicí okruh – vzduch je nasáván a vytlačován přes regulátor tlaku kompresorem do čtyřokruhového pojistného ventilu. Regulátor tlaku zabraňuje překročení maximální hodnoty dovoleného tlaku tak, že upustí přebytečný vzduch do atmosféry. Čtyřokruhový pojistný ventil rozděluje stlačený vzduch do čtyř okruhů a to do 1. a 2. okruhu provozních brzd a do parkovací brzdy. Také je možnost odtud rozvádět vzduch do přívěsu a do přídatných vzduchových systémů. Vzduchojemy slouží jako zásobníky stlačeného vzduchu pro provozní brzdy, parkovací brzdy a brzdy přívěsu. Odkalovací ventily jsou zde pro vypuštění zkondenzované vody, která se zkondenzuje ve vzduchojemu a kterou nezachytí vysoušeče vzduchu.

Provozní brzdy – stlačený vzduch v okruzích provozních brzd vytváří brzdný účinek v brzdách náprav. Je závislý na síle jakou řidič šlape na brzdový pedál a je řízen pedálovým dvouokruhovým brzdíčem. Čím více řidič vozidla stlačí brzdový pedál, tím větší množství vzduchu proudí ze vzduchojemů obou okruhu provozních brzd přes pedálový dvouokruhový brzdíč do brzdných válců přední nápravy, a poté přes regulátor tlaku do brzdových válců zadní

nápravy. Tlak v brzdách na zadní nápravě samočinně reguluje zátěžový regulátor tlaku podle zatížení vozidla (kvůli zablokování zadních kol při odlehčení při brzděném manévru, kvůli ovladatelnosti vozidla). Pokud je vozidlo nezatížené, je přívod vzduchu do zadních pružinových válců omezen. Plný brzdový tlak je aplikován při plném zatížení vozidla.

Parkovací brzda – je ovládána pneumaticky a je uvedena do činnosti ruční pákou ventilu parkovací brzdy. Při odbrzdění jsou pružinové brzdové válce zadní nápravy propojeny přes ovládací ventil parkovací brzdy s příslušným vzduchojemem nebo přímo s čtyřokruhovým ventilem. V pracovní poloze jsou odvzdušněny, v klidové poloze jsou zavzdušněny. Při poruše provozní brzdy lze tedy parkovací brzdou využít jako nouzovou s odstupňovaným účinkem.³

2.3. Kolové brzdy

Při brzdění se kinetická energie mění za pomoci tření mezi pevnými a rotujícími částmi kolových brzd na teplo. Z hlediska přenosu třecí síly dělíme kolové brzdy na:

Kotoučové

Bubnové

Nejčastěji bývají u osobních automobilů použity kotoučové brzdy na přední nápravě a bubnové brzdy na zadní nápravě. Automobily vyšší třídy bývají osazeny kotoučovými brzdami i vzadu. Přední kotouče jsou díky předpokladu vyššího a častějšího namáhání chlazeny, a to za pomoci vnitřního chlazení.

U nákladních vozidel s kapalinovým převodem zatím převažují brzdy bubnové na všech kolech. I zde se však již začíná experimentovat a uplatňovat kotoučových brzd s vnitřním chlazením. Takové vozidlo bylo také testováno v rámci této DP.

Kolové brzdy musí pro správnou a bezpečnou funkčnost splňovat tři základní požadavky:

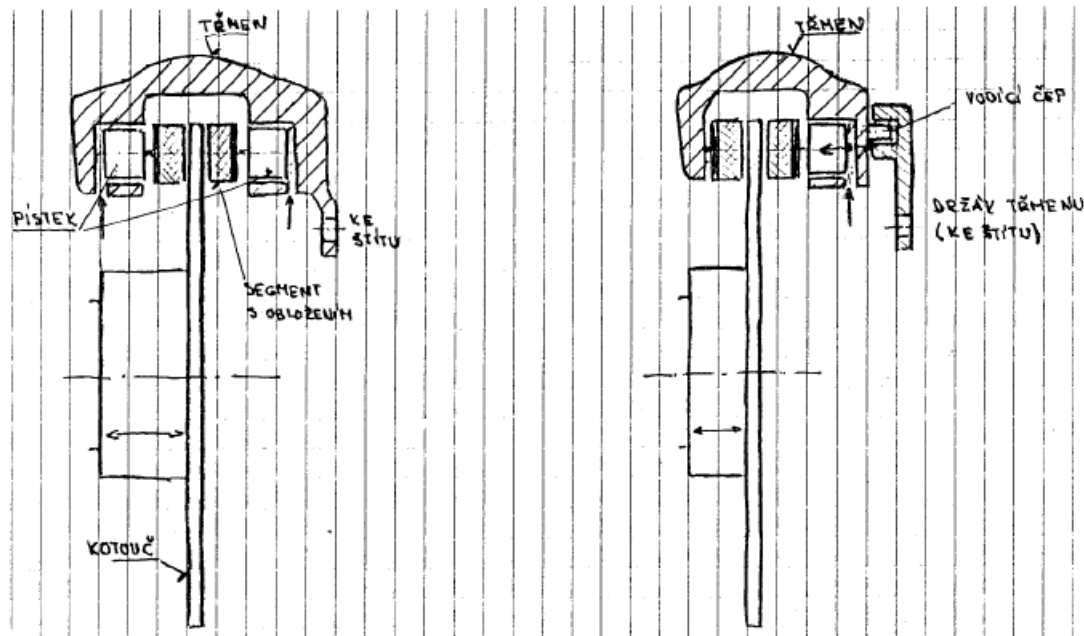
- 1) Musí být schopny absorbovat teplo vznikající při brzdění
- 2) I při velkých teplotních změnách musí být zachovány třecí vlastnosti
- 3) Umožnění přívodu chladícího vzduchu a odvádět teplo

2.3.1. Kotoučová brzda

U brzd s kapalinovým převodem se třecí síla mezi kotoučem a brzdovým obložením vyvozuje tlakem brzdové kapaliny na pístky brzdových válečků, které jsou umístěny na třmenu brzdy. Pokud je za pomoci kotoučové brzdy řešeno i parkovací brzdění vozidla, pak je převod brzdy mechanický.

U kotoučových brzd rozlišujeme dva druhy uspořádání třmenů, a to:

- 1) S pevným třmenem
- 2) S plovoucím třmenem

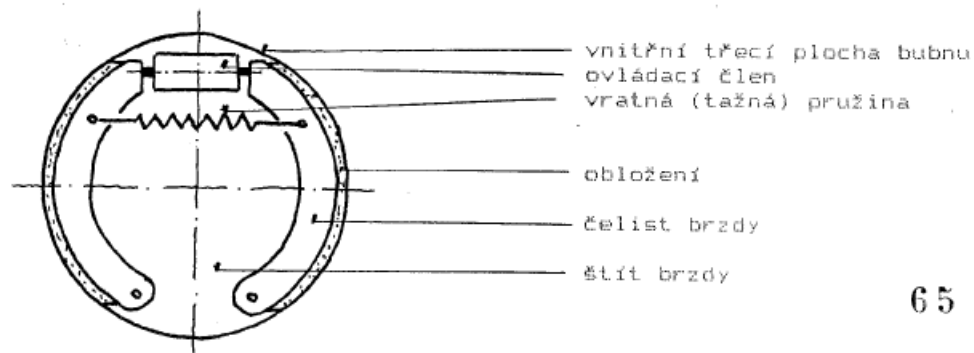


Obr. 3 – typy třmenu kotoučových brzd³

Provedení s plovoucím třmenem je díky vypuštění jednoho z pístků užší a snižuje tím nutný zális kotouče. Kotouče se vyrábějí ze speciální perlitické litiny, a to v tloušťce od 8 do 20 milimetrů, v závislosti na průměru kotouče.

2.3.2. Bubnová brzda

Rotující částí u bubnové brzdy je buben, přičemž třecí plochu zde tvoří válcová plocha uvnitř. Při brzdění se na tuto plochu radiálně přitlačují brzdové čelisti s obložením. Ty přitlačuje ovládací člen, který působí na jednom konci každé čelisti. Brzdové čelisti spolu s ovládacím členem jsou spojeny s pevnou částí, která nerotuje, tzv. štítem brzdy (reakčním členem).

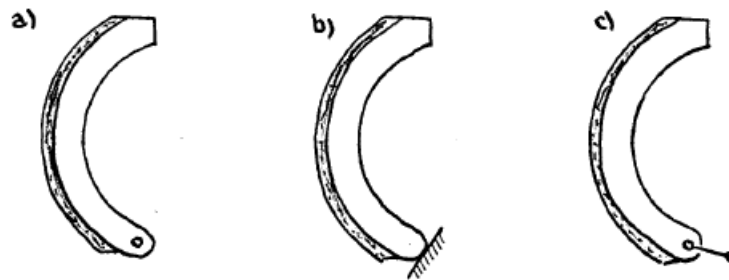


65

Obr. 4 – bubnová brzda

Podle způsobu uložení druhého konce čelisti je dále rozdělujeme na:

- Otočné – jsou otočně uloženy na čepu, mají tedy pevný otočný bod a jeden stupeň volnosti
- Volně plovoucí – jsou opřeny o opěrnou plochu (kolmou nebo šikmou)
- Volně nakotvená – jsou opřeny o opěrnou plochu (za pomoci výkyvné vzpěry na čepu), nemají tedy pevný otočný bod a mají dva stupně volnosti

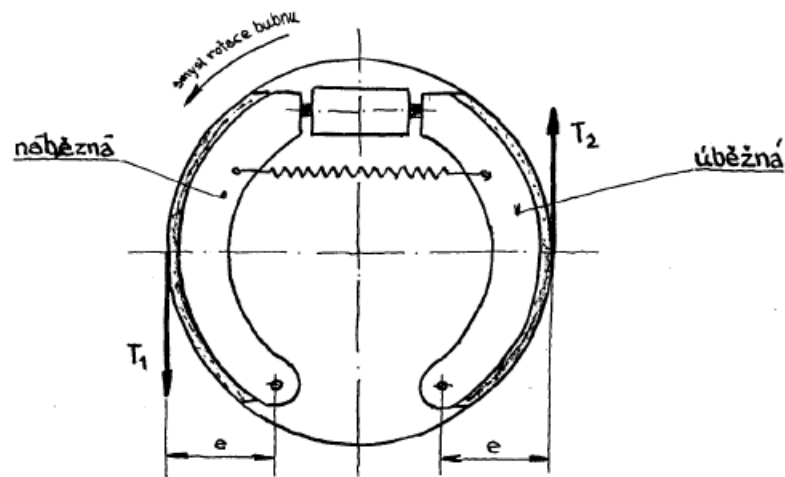


Obr. 5 – uchycení čelisti bubnové brzdy

Další dělení je podle smyslu působení momentu obvodové třecí síly vzhledem k uchycení čelistí:

- Náběžné – při tomto uchycení moment třecí síly zvyšuje přítlak na třecí plochu bubnu
- Úběžné – při tomto uchycení momentu zmenšuje její přítlak na třecí plochu

Zpětný pohyb čelistí do výchozí polohy zajišťuje vratná pružina.



Obr. 6 – smysl působení třecí síly u bubnové brzdy

Uspořádání bubnových brzd

- 1) Jednoduchá (simplex) – disponuje jednou náběžnou a jednou úběžnou čelistí. Obě čelisti přitlačuje společný člen
- 2) Dvounáběžná (duplex) – má obě čelisti náběžné. Každá čelist je přitlačována za pomoci samostatného ovládacího členu
- 3) Se spřaženými čelistmi (servo) – reakce uložení primární čelisti se přenáší rozpěrným čepem na sekundární čelist a tím se vytváří přitlačná síla větší než ovládací síla. Tato čelist pak pracuje jako náběžná s dokonce větším účinkem v porovnání s primární čelistí. Přitlačování čelisti se uskutečňuje společným ovládacím členem.

3. Technické specifikace

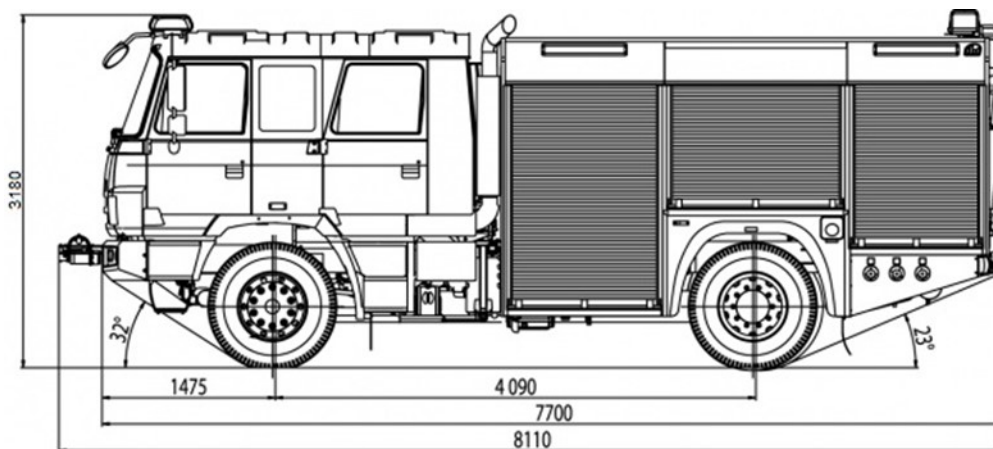
3.1. Testované vozidlo

Testovány byly tři typy vozidel. Jednalo se o vůz určený pro Hasičský Záchraný sbor na podvozku dvounápravového (třinápravového) terénního vozidla Tatra 815 TERNN°, které umožňuje přepravu osádky v kabině a je vybaveno nádržemi na vodu a hasící pěnidlo. V práci je také uvedeno vozidlo s experimentálními prvky, konkrétně se jednalo o osazení kotoučovými brzdami a převodovkou typu Allison. Tyto prvky nejsou pro dané podvozky výrobní standard. Tento prototyp byl nazván výrobcem TERRA.



Obr. 7 – testované vozidlo

Technické specifikace Tatry T815 – 231R55 19.325.4x4.2/410



Obr. 8 – rozměry testovaného vozidla

3.2. Rozměry a hmotnosti

Tabulka 1 – rozměry a hmotnosti testovaného vozidla

| Rozměry | |
|---|----------|
| Šířka | 2550 mm |
| Rozchod přední | 2034 mm |
| Rozchod zadní | 1778 mm |
| Světlá výška | 300 mm |
| Hmotnosti | |
| Provozní hmotnost vozidla | 8100 kg |
| Podíl na přední nápravu | 5650 kg |
| Podíl na zadní nápravu | 2450 kg |
| Užitečné zatížení | 10900 kg |
| Nejvyšší technická příp. hmotnost vozidla | 19000 kg |
| Nejvyšší tech. Příp. hmotnost vozidla na přední nápravu | 8000 kg |
| Nejvyšší tech. Příp. hmotnost vozidla na zadní nápravu | 11500 kg |

3.2.1. Motor

Typ: Tatra T3D-928-30 EURO V

Počet válců: 8

Vrtání/Zdvih: 120/140 mm

Zdvihový objem: 12667 cm³

Čistý výkon: 325 kW/ 1800 min⁻¹

Čistý točivý moment: 2100 Nm/ 1100-1200 min⁻¹

Úprava výfukových plynů systémem SCR

3.2.2. Spojka a převodový agregát

Spojka: Typ Tatra MFZ 1x430, jednolamelová

Převodovka:

Typ: Tatra 14TS 210L synchronizovaná

Počet stupňů vpřed/vzad: 14/2

Přídavná převodovka

Typ: Tatra 2.30 TRS 1,85 (0,8) sestupná, dvoustupňová, zvyšuje počet převodových stupňů v převodovce, poloautomatické řazení převodových stupňů s možností volby systému řazení

3.2.3. Nápravy

Přední: Řízená, hnaná s výkyvnými polonápravami, zapínatelný pohon, osový diferenciál. Pérování zkrutnými tyčemi a teleskopickými tlumiči.

Zadní: Hnaná, s výkyvnými polonápravami, osový diferenciál. Pérování vzduchovými vlnovcovými pružinami v kombinaci s vinutými pružinami a teleskopickými tlumiči. Torzní stabilizátor.

3.2.4. Brzdy

Bubnové kolové brzdy. Nepřímočinné ovládání vzduchem. Čtyři nezávislé brzdové systémy: provozní s ABS, nouzový, parkovací, odlehčovací – motorová brzda

3.2.5. Pneumatiky, disky:

Tabulka 2 – rozměry pneumatik a disků

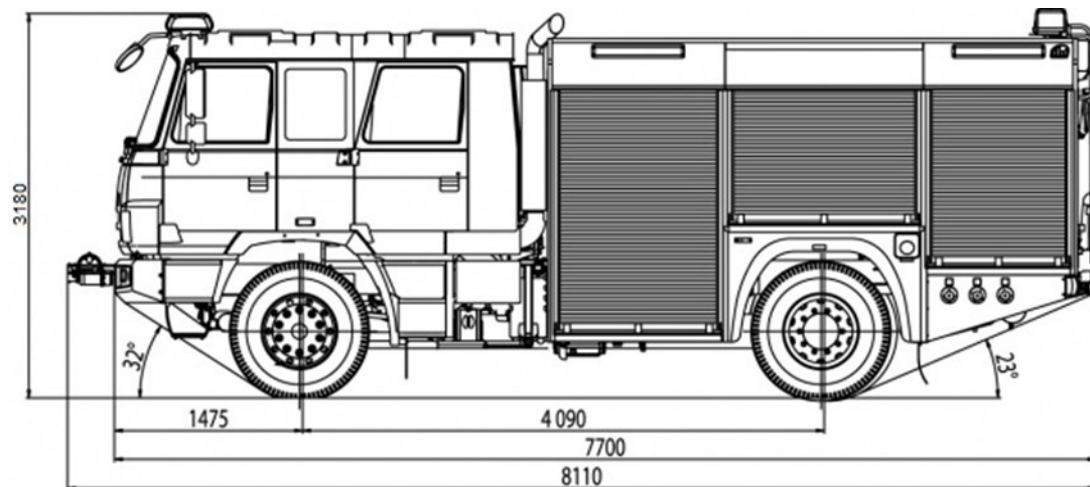
| | Přední | Zadní |
|------------|--------------|--------------|
| Pneumatiky | 385/65 R22,5 | 315/80 R22,5 |
| Disky | 22,5x11,75 | 22,5x9,00 |

* čerpáno ze specifikací Tatra TERRN°1 podvozek T 815-231R55/410

Celková hmotnost měřeného vozidla byla 17344 kg.

4. Těžiště Tatra T 815 – 231R55 19.325.4x4.2/410

Pro jízdní manévry, tedy i brzdění, je velmi důležité znát polohu těžiště daného vozidla. Abych byl schopen vypočítat jeho co nejpřesnější polohu, potřebuji znát statické zatížení jednotlivých kol. Poloha těžiště ve vodorovné poloze stanovím na základě jednoduchých momentových rovnic rovnováhy. Nakloněním vozidla ne přední nebo zadní nápravu a následně na levou a pravou stranu zjistím výšku těžiště vozidla. Postup zde bude obdobný jako u vodorovné polohy, aplikuji tedy momentové rovnice rovnováhy a rozdíl zatížení. V ideálním případě se při tomto postupu zablokuje (znemožní funkce) vypružení vozidla, aby při měření nedocházelo k prosednutí náprav při zvedání a naklápění, protože by tím došlo ke zkreslení výsledků měření. Těmito uvedenými způsoby bylo tedy naměřeno několik hodnot zatížení, které jsou uvedeny níže v tabulce 3 a 4. Z těchto hodnot byl následně vypočítán průměr. Ten se jeví jako nejideálnější, protože při měření je vozidlo ovlivňováno pohyby provozních kapalin, kapalin určeným k výkonu práce a nelineárností vypružení.

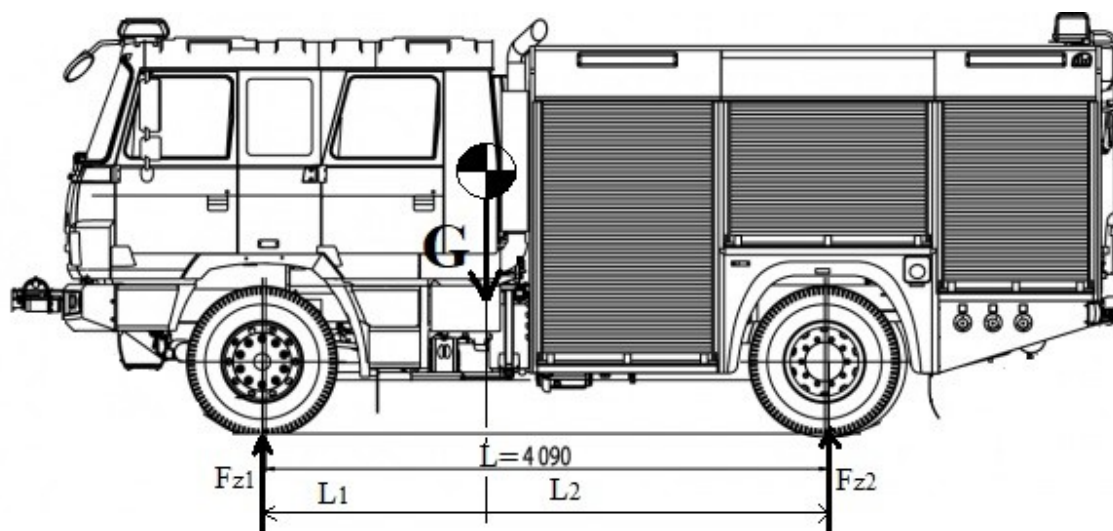


Obr. 9 – rozměry vozidla pro výpočet těžiště

Tabulka 3 - Statické zatížení

| Hmotnosti na kolo v kg | | | | |
|------------------------|-----------|-------|-----------|-------|
| Meření | Náprava 1 | | Náprava 2 | |
| | L | P | L | P |
| 1 | 3240 | 3780 | 5220 | 5160 |
| 2 | 3140 | 3760 | 5220 | 5140 |
| 3 | 3180 | 3740 | 5240 | 5160 |
| 4 | 3240 | 3780 | 5220 | 5140 |
| 5 | 3200 | 3760 | 5260 | 5140 |
| Průměr | 3200 | 3764 | 5232 | 5148 |
| Sm. odch. | 42,43 | 16,73 | 17,89 | 10,95 |

4.1. Podélná poloha těžiště:



Obr. 10 – podélná poloha těžiště

Tabulka 4 – Zatížení při zvedání jedné nápravy

| úhel α [°] | z_L [m] | z_P [m] | Δz [m] | m ² _L [kg] | m ² _P [kg] | m ² [kg] |
|-------------------|---------|---------|----------------|------------------------|------------------------|---------------------|
| 0 | 0,114 | 0,115 | 0 | 5520 | 5100 | 10620 |
| 1,2 | 0,214 | 0,218 | 0,102 | 5540 | 5140 | 10680 |
| 2,7 | 0,315 | 0,32 | 0,203 | 5580 | 5220 | 10800 |
| 4,1 | 0,414 | 0,415 | 0,3 | 5600 | 5280 | 10880 |
| 5,5 | 0,514 | 0,515 | 0,4 | 5640 | 5320 | 10960 |
| 7 | 0,615 | 0,615 | 0,501 | 5680 | 5380 | 11060 |
| 8,4 | 0,718 | 0,715 | 0,602 | 5720 | 5440 | 11160 |
| 9,9 | 0,815 | 0,823 | 0,705 | 5720 | 5460 | 11180 |
| 11,4 | 0,915 | 0,924 | 0,805 | 5740 | 5460 | 11200 |
| 9,9 | 0,815 | 0,817 | 0,702 | 5740 | 5460 | 11200 |
| 8,5 | 0,715 | 0,72 | 0,603 | 5780 | 5420 | 11200 |
| 7,1 | 0,615 | 0,62 | 0,503 | 5760 | 5360 | 11120 |
| 5,6 | 0,514 | 0,518 | 0,402 | 5730 | 5300 | 11020 |
| 4,1 | 0,415 | 0,419 | 0,303 | 5680 | 5260 | 10940 |
| 1,7 | 0,314 | 0,321 | 0,203 | 5680 | 5140 | 10820 |
| 1,4 | 0,214 | 0,223 | 0,104 | 5760 | 4960 | 10720 |
| 0,4 | 0,14 | 0,165 | 0,038 | 5680 | 4980 | 10660 |

Momentová rovnice rovnováhy k přednímu kolu je:

$$G \cdot L_1 - F_{z2} \cdot L = 0 \text{ [Nm]}$$

$$L_1 = \frac{F_{z2} \cdot L}{G} \text{ [m]}$$

$$L_2 = L - L_1 \text{ [m]}$$

Kde:

L... Rozvor vozidla (4090 mm = 4,09 m)

L₁... Vzdálenost těžiště od přední nápravy

L₂... vzdálenost těžiště od zadní nápravy

F_{z1}... Zatížení přední nápravy

F_{z2}... Zatížení zadní nápravy

G... Tíha vozidla

Po dosazení tedy:

$$F_{z1} = (3200 + 3764) \cdot 9,81 = 68316,84 \text{ [N]}$$

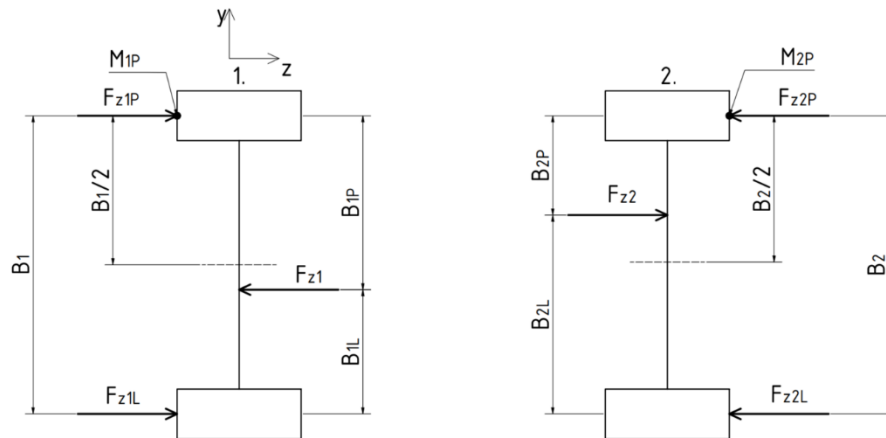
$$F_{z2} = (5232 + 5148) \cdot 9,81 = 101827,8 \text{ [N]}$$

$$G = F_{z1} + F_{z2} = 68316,84 + 101827,8 = 170144,64 \text{ [N]}$$

$$L_1 = \frac{101827,8 \cdot 4,09}{170144,64} = 2,45 \text{ [m]}$$

$$L_2 = 4,09 - 2,45 = 1,64 \text{ [m]}$$

4.2. Příčná poloha těžiště



Obr. 11 – příčná poloha těžiště

4.2.1. Přední náprava:

$$z: F_{z1} = F_{z1P} + F_{z1L} \text{ [N]}$$

$$y: B_1 = B_{1P} + B_{1L} \rightarrow B_{1L} = B_1 - B_{1P} \text{ [m]}$$

$$M_{1P}: F_{z1} \cdot B_{1P} - F_{z1L} \cdot B_1 = 0 \text{ [Nm]}$$

$$B_{1P} = \frac{F_{z1L} \cdot B_1}{F_{z1}} \text{ [m]}$$

Po dosazení dostávám:

$$B_{1P} = \frac{31392 \cdot 2,034}{68316,84} = 0,935 \text{ [m]}$$

$$B_{1L} = 2,034 - 0,935 = 1,099 \text{ [m]}$$

4.2.2. Zadní náprava:

$$z: F_{z2} = F_{z2P} + F_{z2L} \text{ [N]}$$

$$y: B_2 = B_{2P} + B_{2L} \rightarrow B_{2L} = B_2 - B_{2P} \text{ [m]}$$

$$M_{2P}: F_{z2} \cdot B_{2P} - F_{z2L} \cdot B_2 = 0 \text{ [Nm]}$$

$$B_{2P} = \frac{F_{z2L} \cdot B_2}{F_{z2}} [m]$$

Po dosazení dostávám:

$$B_{2P} = \frac{51325,92 \cdot 1,778}{101827,8} = 0,896 [m]$$

$$B_{2L} = 1,778 - 0,896 = 0,882 [m]$$

Kde:

F_{z1P} / F_{z1L} ...Zatížení předního pravého nebo levého kola

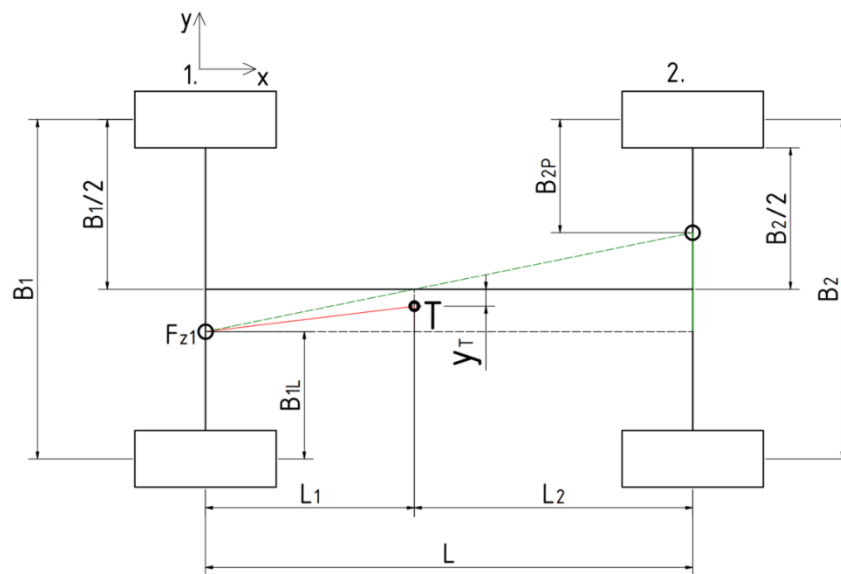
B_{1P} / B_{1L} ... Vzdálenost působíště síly zatěžující přední nápravu od pravého nebo levého kola

B_1 ... Rozchod přední nápravy

F_{z2P} / F_{z2L} ...Zatížení zadního pravého nebo levého kola

B_{2P} / B_{2L} ... Vzdálenost působíště síly zatěžující zadní nápravu od pravého nebo levého kola

B_2 ... Rozchod zadní nápravy



Obr. 12 – výpočet na základě podobnosti trojúhelníku

Z podobnosti červeného a zeleného trojúhelníku na obrázku vyplyne rovnice:

$$\frac{\left(\frac{B_2}{2} - B_{2P}\right) + \left(\frac{B_1}{2} - B_{1L}\right)}{L} = \frac{\left(\frac{B_1}{2} - B_{1L}\right) - y_T}{L_1}$$

Po úpravách dostávám rovnici pro velikost odchylky těžiště od osy vozidla y_T :

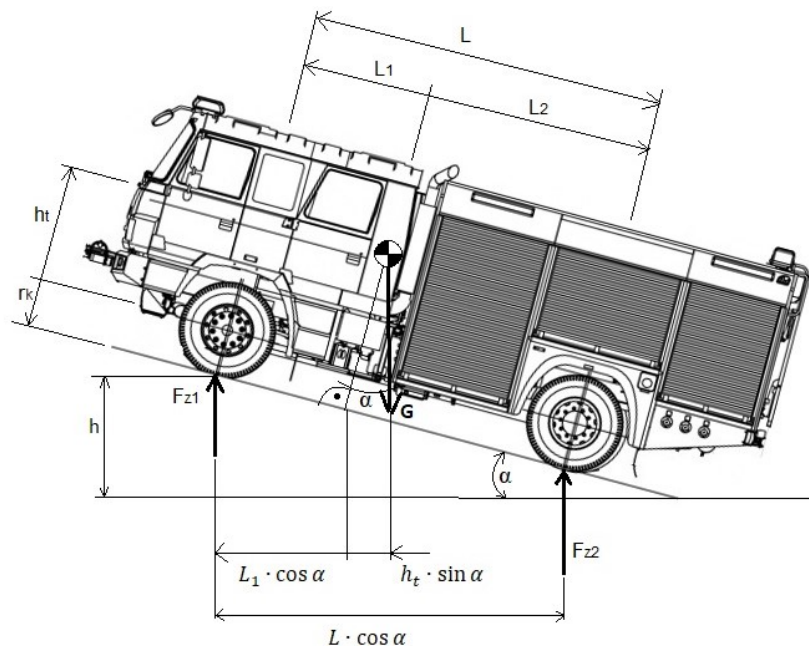
$$y_T = \left(\frac{B_1}{2} - B_{1L} \right) - \left(\frac{B_2}{2} - B_{2P} + \frac{B_1}{2} - B_{1L} \right) \cdot \frac{L_1}{L} \text{ [m]}$$

Po dosazení dostávám:

$$y_T = \left(\frac{2,034}{2} - 1,099 \right) - \left(\frac{1,778}{2} - 0,896 + \frac{2,034}{2} - 1,099 \right) \cdot \frac{2,45}{4,09} = -0,029 \text{ [m]}$$

4.3. Svislá poloha těžiště

Při výpočtu výšky těžiště vozidla jsem musel zanedbat část dat, protože výška těžiště díky nim nabývala velmi odlišných hodnot. Jednalo se především o data při malých úhlech naklopení.



Obr. 13 – svislá poloha těžiště

$$\sin \alpha = \frac{h}{L}$$

$$z: G - F_{z1} - F_{z2} = 0$$

$$M_{(1)}: -F_{z2} \cdot L \cdot \cos \alpha + G \cdot (L_1 \cdot \cos \alpha + h_t \cdot \sin \alpha) = 0 \text{ [Nm]}$$

$$G \cdot h_t \cdot \sin \alpha = F_{z2} \cdot L \cdot \cos \alpha - G \cdot L_1 \cdot \cos \alpha$$

Po úpravách získávám výšku těžiště od osy náprav h_t , ke které je nutné přičíst poloměr kola r_k (0,538 m). Tímto součtem získám výšku těžiště vozidla od vozovky.

$$h_t = \frac{\frac{F_{z2}}{G} \cdot L - L_1}{\tan \alpha} [m]$$

Po dosazení dostávám:

Tabulka 5 – Hodnoty pro výpočet výšky těžiště

| h [m] | F _{z2} [N] | α [°] | h _t [m] |
|-------|---------------------|-------|--------------------|
| 0,3 | 106732,8 | 4,1 | 1,644904 |
| 0,4 | 107517,6 | 5,5 | 1,420447 |
| 0,501 | 108498,6 | 7 | 1,305988 |
| 0,602 | 109479,6 | 8,4 | 1,245618 |

| | |
|-----------|----------|
| Průměr | 1,404239 |
| Sm. odch. | 0,152477 |

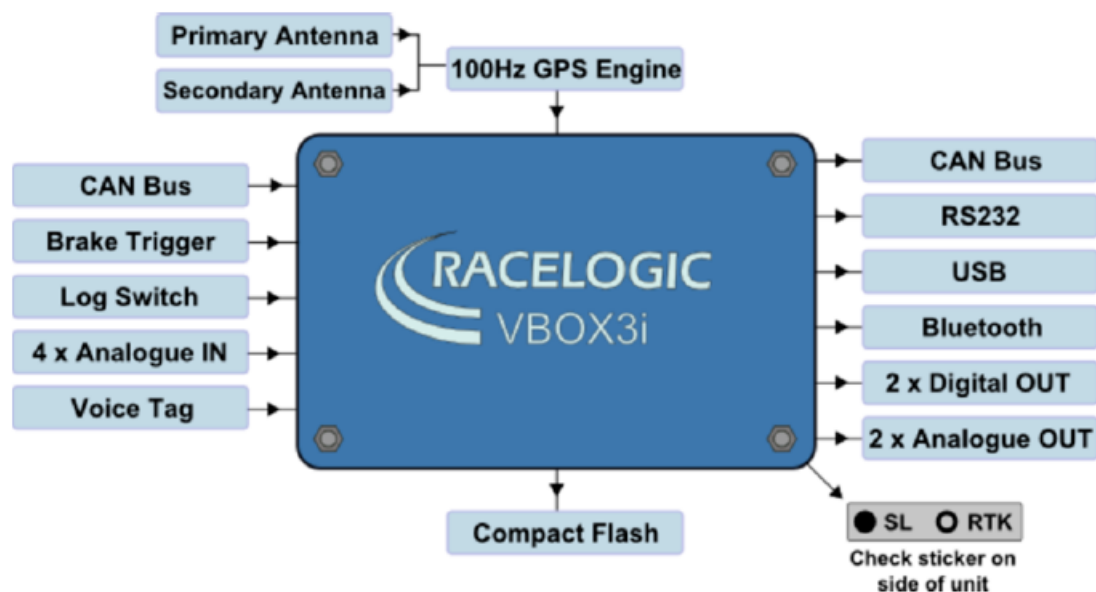
Součtem poloměru kola r_k a výškou těžiště od osy nápravy h_t dostávám výšku těžiště od vozovky z .

$$z = h_t + r_k [m]$$

$$z = 1,404 + 0,538 = \mathbf{1,942} [m]$$

5. RaceLogic Vbox 3i

K měření jsme využili přístroje firmy RaceLogic. Konkrétně se jednalo o model Vbox 3i Dual Antenna, který oproti svému předchůdci disponuje mnoha novými funkcemi, mezi které patří hlavně velmi silná anténa využívající jak GPS signál, tak signál GLONASS. Díky této je přístroj velice přesný (hovoříme zde o přesnosti o výchylce maximálně 2 centimetry) a nedochází k téměř žádnému zpoždění. Přístroj nahrává až 100krát za vteřinu, díky čemuž dosahuje vysoké přesnosti v měření. S počítačem jej lze spojit přes Bluetooth nebo data nahrát na USB klíč a poté použít počítač pouze ke zpracování dat. K přístroji lze připojit i tzv. „trigger“, které sledují a nahrávají stlačení plynového či brzdového pedálu v reálném čase.⁷



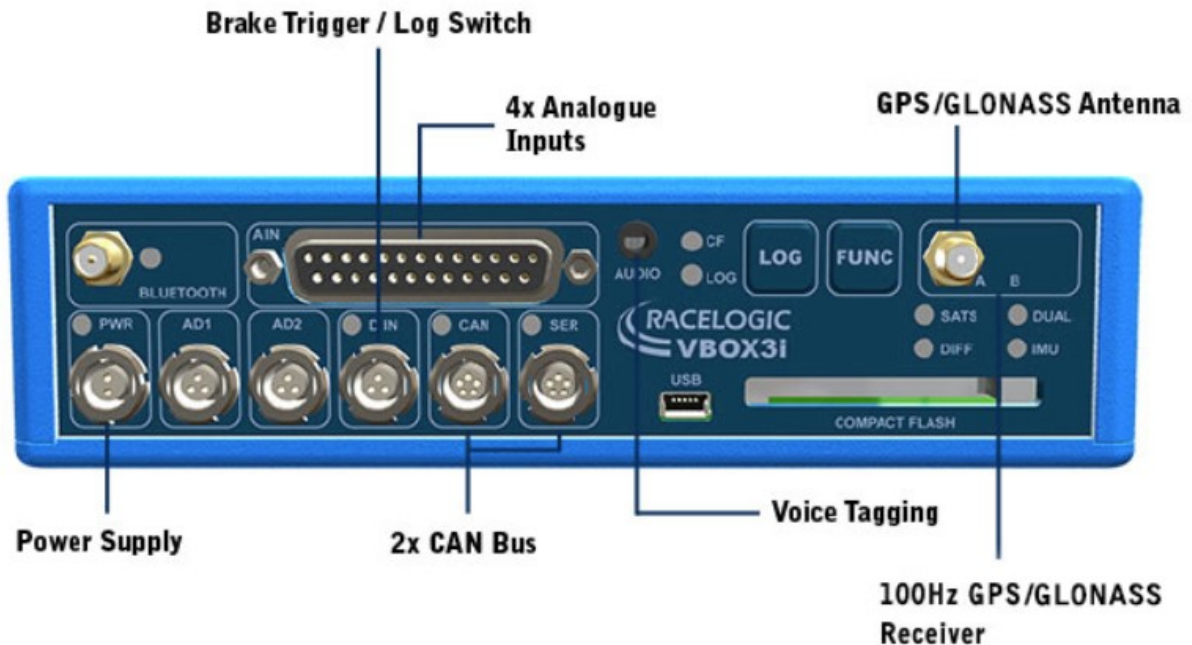
Obr. 14 – schéma připojení měřícího přístroje

5.1. Vstupy:

2x CAN vstup – přístroj disponuje dvěma CAN vstupy. První zajišťuje možnost nahrávání dat z RACELOGIC modulů, jako jsou TC8 nebo FIM03. Druhý CAN zajišťuje možnost logování až 16 CAN signálů z jiného zdroje (laserové čidlo světla výšky nebo čidlo natočení volantu). Ke zpracování těchto dat je třeba využít software VBOX Tools.

Digitální vstup – tento vstup slouží pro připojení Brake Triggeru (čidla stlačení brzdového pedálu). Toho využijeme hlavně při měření brzdné dráhy vozidla pro určení přesného začátku brzdění.

4 analogové vstupy – každý ze čtyř analogových vstupních kanálů má vyhrazený analogový převodník. Data se zaznamenávají z každého kanálu současně, aby se zabránilo zpoždění mezi daty analogového kanálu. Název, měřítko a offset každého kanálu lze upravit pomocí software VBOX Tools a tím umožnit protokolování dat ve standardních jednotkách SI. Analogový vstupní konektor také poskytuje dva výkonné výstupy, které mohou být použity pro snímače řízení. Rychlost záznamu lze nastavit na 100 Hz nebo 500 Hz.⁷



Obr. 15 – schéma konektorů měřicího přístroje

5.2. Výstupy:

CAN výstup – jeden ze dvou portů VBOX CAN lze použít k výstupu parametrů GPS plus všech 12 kanálů z připojených vstupních modulů nebo interních AD kanálů. Přenosová rychlost a název CAN pro tyto výstupy jsou konfigurovatelné uživatelem

RS232 – je používán pro konfiguraci přístroje VBOX a výstup GPS dat v reálném čase. Poskytuje rozhraní pro připojení k rádiovému telemetrickému systému a nabízí PC monitorování testovacích dat.

USB – VBOX 3i USB konektor lze použít pro konfiguraci zařízení a k zaznamenání výstupních dat v reálném čase na 100 Hz frekvenci

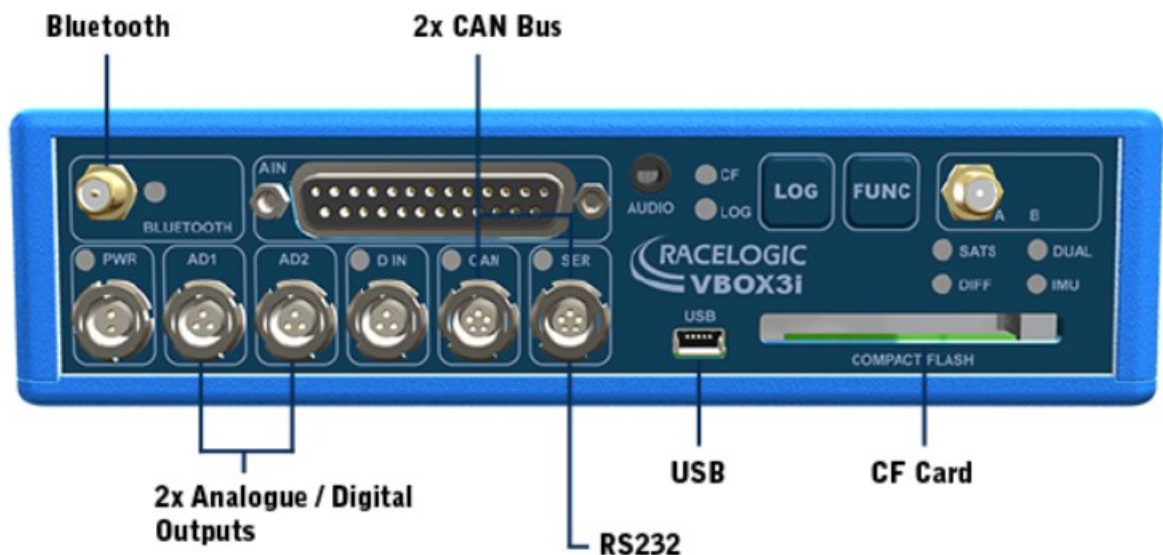
Bluetooth – VBOX je vybaven interním Bluetooth rádiem, které umožňuje vzdálenou konfiguraci a vzdálený výstup GPS dat v reálném čase na jakýkoli PC nebo datový záznamník

který podporuje Bluetooth připojení. Přístroj je schopen odesílat data plnou rychlostí až 100 Hz.

Dva digitální výstupy – první digitální výstup je přiřazen k nastavení “Rychlost / vzdálenost” s možností nastavení počtu impulzů na metr, zatímco druhý výstupem je hladinový spínač, který umožňuje uživateli vybrat jakýkoli z aktivních kanálů a tomu přiřadit prahovou hodnotu.

Dva analogové výstupy – jedná se o 16 bitové výstupy. Lze je nakonfigurovat tak, aby vydávaly rychlost nebo jiné GPS parametry pro použití v dalších zařízeních pro záznam dat.

CF karta – Data jsou zaznamenávána v textovém formátu odděleném mezerami. Doba záznamu závisí od kapacity flash karty, frekvenci záznamu, počtu kanálů a podmínkách protokolování. Podporovány jsou pouze karty o maximální kapacitě 32 GB.⁷



Obr. 16 – schéma konektorů měřicího přístroje

5.3. Parametry:

Zařízení VBOX RaceLogic 3i je schopno standartně zaznamenat následující parametry při rychlostí 100 vzorků za sekundu a čistě za použití signálu z GLONASS/GPS

- Čas
- Pozice
- Rychlost
- Směr jízdy
- Výška

- Výšková rychlost
- Boční zrychlení
- Podélné zrychlení
- Poloměr zatáčení
- Středová odchylka
- Další parametry, jako úhel natočení a úhel sklonu je možno zaznamenat po připojení Inertial Measurement Unit (IMU)

5.4. Specifikace

| VB2SX: GPS Specifications for VBOX II SX 20Hz Unit | | | |
|--|------------------------------------|--|----------------------|
| Velocity | | Distance | |
| Accuracy | 0.1 Km/h (averaged over 4 samples) | Accuracy | 0.05% (<50cm per Km) |
| Units | Km/h or Mph | Units | Metres / Feet |
| Update rate | 20 Hz | Update rate | 20Hz |
| Maximum velocity | 1000 Mph | Resolution | 1cm |
| Minimum velocity | 0.1 Km/h | | |
| Resolution | 0.01 Km/h | | |
| Latency | 41.5 ms | | |
| Absolute Positioning | | Time | |
| Accuracy | 3m 95% CEP** | <u>Accel/Brake Test (MFD/VBOXTools):</u> | |
| Accuracy with SBAS DGPS | | Resolution | 0.01 s |
| • Europe (EGNOS) | <1m 95% CEP** | Accuracy | 0.05 s |
| • USA (WAAS) + ASIA (MSAS) | <1.8m 95% CEP** | <u>Lap Timing (OLED/VBOXTools):</u> | |
| Accuracy w/ BaseStation | 40cm 95% CEP** | Resolution | 0.01 s |
| Accuracy with local upgrade | 20cm 95% CEP** | Accuracy | 0.01 s* |
| Update rate | 20 Hz | | |
| Resolution | 1 cm | | |
| Height accuracy | 6 Metres 95% CEP** | Brake stop Accuracy | |
| Height accuracy with SBAS DGPS | 2 Metres 95% CEP** | Accuracy | ± 10cm |
| Heading | | Acceleration | |
| Resolution | 0.01° | Accuracy | 0.50% |
| Accuracy | 0.1° | Maximum | 20 G |
| | | Resolution | 0.01 G |
| | | Update rate | 20 Hz |

Obr. 17 – specifikace měřícího přístroje

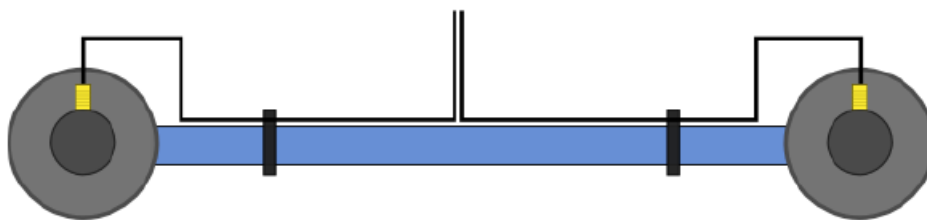
V mé práci se budu věnovat mimo jiné i sklonu vozidla při brzdění, proto využiji takzvaného Dual Antenna systému (dále DA). V tomto případě platí, že čím je větší

vzdálenost mezi anténami na vozidle, tím přesnější bude měření. Následující tabulka uvádí příklady odchylek v závislosti na vzdálenosti mezi anténami na střeše vozidla:

Tabulka 6 – odchylky v závislosti antén na střeše vozidla

| Střední hodnota odchylky [°] | Vzdálenost antén [m] |
|------------------------------|----------------------|
| 0,14 | 0,5 |
| 0,07 | 1,0 |
| 0,047 | 1,5 |
| 0,035 | 2,0 |
| 0,028 | 2,5 |

Abych mohl využít tohoto DA systému, je třeba aby byly obě antény co nejdále od sebe pro co nejpřesnější měření a aby byly ve vodorovné rovině. Toho dosáhnou pomocí střešního držáku. V tomto provedení je třeba aby primární anténa A byla umístěna směrem k zádi vozidla, kdežto referenční anténa B směrem k čelu vozidla. Oba kabely vedoucí od antén k zaznamenávacímu přístroji musí být stejně dlouhé, aby nedošlo ke zpoždění signálu od jedné z antén. Pro zajištění co nejpřesnějšího měření by antény měly být srovnány tak, aby oba zlaté konektory směřovaly stejným směrem.



Obr. 18 – schéma střešního držáku a antén



Obr. 19 – střešní držák v praxi

6. Zkoušky brzdění

6.1. Všeobecná ustanovení

Účinek předepsaný pro brzdové systémy je založen na středním brzdném zpomalení a na brzdné dráze. Účinek se stanoví podle naměřené brzdné dráhy, která se vztáhne k počáteční rychlosti vozidla, a nebo podle středního plného brzdného zpomalení, které naměřím v průběhu zkoušky.

Brzdná dráha je dráha, kterou vozidlo ujede od okamžiku začátku působení řidičem na ovládací orgán brzdového systému až do okamžiku, kdy se vozidlo úplně zastaví. Počáteční rychlost je pak rychlost v okamžiku, kdy řidič začne působit na ovládací orgán brzdového systému, přičemž počáteční rychlost nesmí být nižší než 98% rychlosti předepsané pro danou zkoušku. V mém případě se jedná o zkoušku z rychlosti 60 kilometrů za hodinu.⁸

Střední brzdné zpomalení se vypočítá dle následujícího vzorce:

$$d_m = \frac{v_b^2 - v_e^2}{25,92 \cdot (s_e - s_b)}$$

v_0 ... počáteční rychlost vozidla v km/h

v_b ... rychlost vozidla při 0,8 v_0 v km/h

v_e ... rychlost vozidla při 0,1 v_0 v km/h

s_b ... dráha, kterou vozidlo ujede mezi v_0 a v_b v metrech

s_e ... dráha, kterou vozidlo ujede mezi v_0 a v_e v metrech

Rychlost a dráha musí být zjištěny pouze přístroji s přesností $\pm 1\%$ z předepsané zkušební rychlosti. Brzdné zpomalení lze určit jinými způsoby než měřením rychlosti a dráhy, ale v takovém případě se musí d_m určit s přesností na 3%.

Pro udělení homologace se měří účinek brzdění za následujících podmínek:

- Zkouška musí být prováděna z rychlosti která je stanovena pro každý typ zkoušky. Jestliže je nejvyšší konstrukční rychlost vozidla nižší, zkouší se z této rychlosti
- Síla, kterou se při zkoušce působí na ovládací orgán nesmí překročit nejvyšší stanovenou hodnotu
- Vozovka, na které je prováděna zkouška, musí mít povrch s dobrými adhezními vlastnostmi
- Zkouška se smí konat jen tehdy, pokud nebude její výsledek nijak ovlivněn povětrnostními podmínkami

- Na počátku zkoušky musí být pneumatiky studené a nahuštěné na tlak, který je předepsaný pro zatížení skutečně nesené koly při stojícím vozidle
- Předepsaného účinku brzdného zpomalení se musí dosáhnout bez blokování kol při rychlosti vyšší než 15 kilometrů za hodinu
- Vozidlo nesmí při brzdném manévru vybočit z pruhu širokého 3,5 metru a nebo překročit úhel stáčení 15°

6.2. Všeobecné podmínky pro zkoušku typu 0

s odpojeným motorem (základní zkouška účinku brzd za studena)

- Průměrná teplota brzd na nápravě vozidla, kde jsou brzdy nejvíce namáhány, měřena uvnitř brzdových obložení nebo na brzdné ploše kotouče nebo bubnu, musí být před každým brzděním 65-100 °C
- Každou zkoušku je nutno opakovat s nenaloženým vozidlem. Ve vozidle tedy může být kromě řidiče další osoba na předním sedadle, která je pověřena záznamem výsledků zkoušky
- Zkušební dráha musí být vodorovná
- Zkouška musí být provedena z předepsané rychlosti. Pro číselné hodnoty této rychlosti je přípustná jistá tolerance. Vozidlo musí dosáhnout minimálního účinku předepsaného pro příslušnou kategorii v následující tabulce.⁸

| Kategorie vozidla | | M ₂ | M ₃ | N ₁ | N ₂ | N ₃ |
|---|--|------------------------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|
| Typ zkoušky | | 0-I | 0-I-II nebo IIA | 0-I | 0-I | 0-I-II |
| Zkouška typu 0 s odpojeným motorem | v km/h | 60 | 60 | 80 | 60 | 60 |
| | $s \leq$ | $0,15 v + \frac{v^2}{130}$ | | | | |
| | $d_m \geq$ | 5,0 m/s ² | | | | |
| Zkouška typu 0 se zapojeným motorem | $v=80\%v_{\max}$, ale nepřesahující: km/h | 100 | 90 | 120 | 100 | 90 |
| | $s \leq$ | $0,15 v + \frac{v^2}{103,5}$ | | | | |
| | $d_m \geq$ | 4,0 m/s ² | | | | |
| | $F \leq$ | 700 N | | | | |

kde:

v = počáteční rychlost zkoušky, v km/h,

s = brzdná dráha, v metrech,

d_m = střední plné brzdné zpomalení, v m/s²,

F = síla působící na brzdový pedál, v N

v_{\max} = maximální rychlost vozidla, v km/h.

V mém případě platí, že nemusím počítat střední brzdné zpomalení dle výše uvedeného vzorce, protože jej měří přístroj Racelogic sám. Dle tabulky (výše) vidím, že brzdné zpomalení musí být větší nebo rovno hodnotě 5,0 m/s². Racelogic měří tuto hodnotu v jednotkách g, musím tuto hodnotu tedy převést jednoduchým výpočtem, kdy hodnotu d_m v metrech za sekundu na druhou podělím gravitačním zrychlením g.

$$d_m \geq \frac{5}{9,81} = 0,5096 g$$

To stejné platí o brzdné dráze. Přístroj měří dráhu nestále v reálném čase. Proto jsem tedy po vyfiltrování dat tak, abych měl vypsány pouze brzdné manévry, odečetl od sebe hodnotu ujeté dráhy v momentě úplného zastavení vozidla a hodnotu dráhy při započetí brzdného manévru. Tak jsem dostal přesnou brzdnou dráhu vozidla v konkrétním pokusu. Dle vzorce

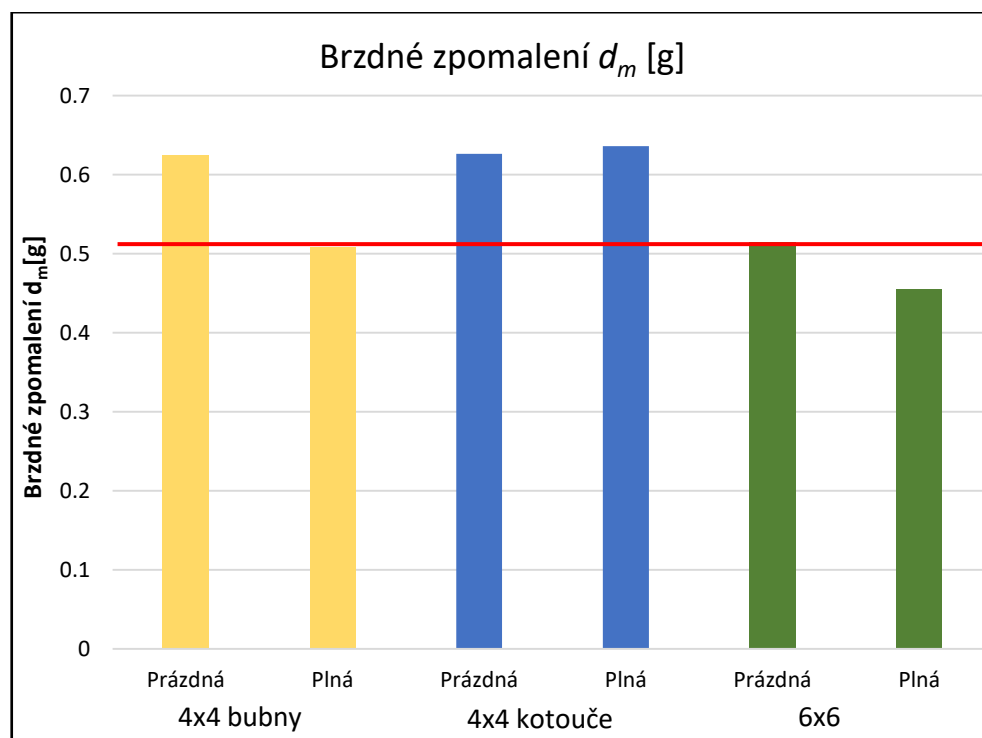
podle předpisu EHK je potřebná brzdná dráha podle legislativy následující. Všechny brzdné manévry proběhly z rychlosti 60 km/h:

$$s \leq 0,15 \cdot v + \frac{v^2}{130} = 0,15 \cdot 60 + \frac{60^2}{130} = 36,69 \text{ m}$$

V programu Excel jsem vytvořil následující tabulku, která porovnává brzdné dráhy testovaných vozidel. V grafu pod tabulkou potom i grafické zobrazení. Jednotlivé sloupce vyjadřují měření. Jedná se o hodnotu příslušného průměru. Červená čára značí hodnotu stanovenou předpisem EHK.

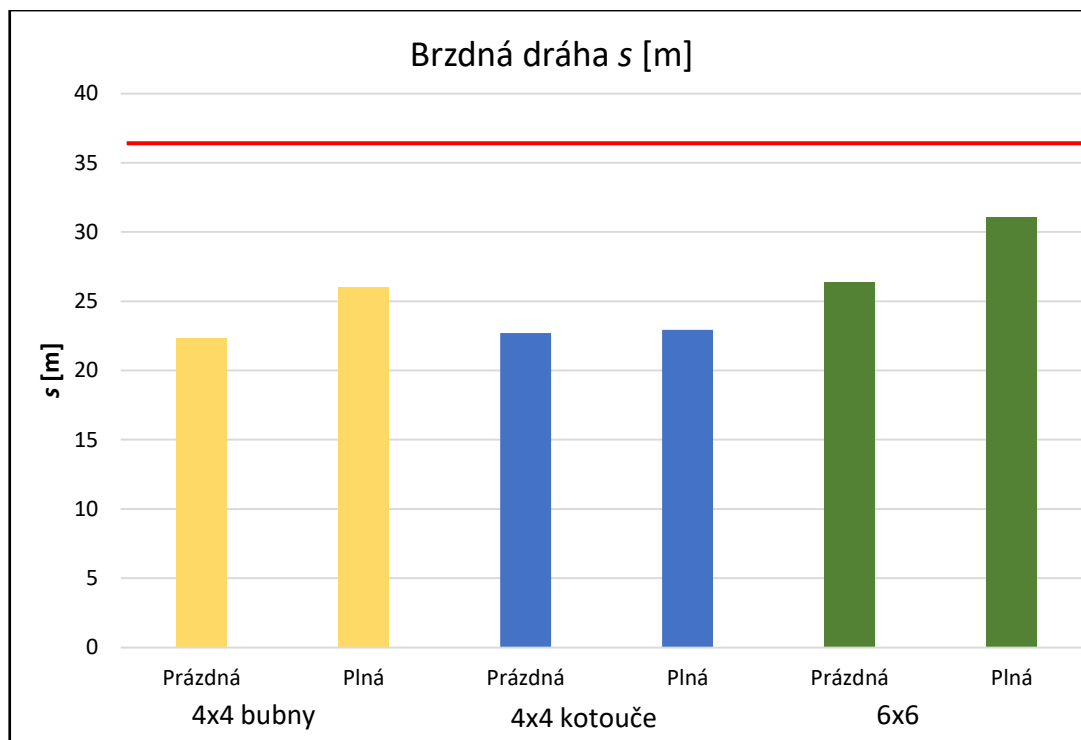
Tabulka 7 – brzdné dráhy testovaných vozidel

| | | d_m [g] | Brzdná dráha [m] |
|----------------|---------|-----------|------------------|
| 4x4 bubny | Prázdná | 0,597891 | 22,36652778 |
| | Plná | 0,536506 | 25,98949306 |
| 4x4 kotouče | Prázdná | 0,645697 | 22,70943056 |
| | Plná | 0,631594 | 22,93970834 |
| 6x6 | Prázdná | 0,51526 | 26,36322223 |
| | Plná | 0,451077 | 31,07218056 |



Obr. 20 – graf brzdného zpomalení všech vozidel

U grafu brzdného zpomalení vidím, že verze Tatry s pohonem 6x6 při plném naložení jen o malý kousek nesplňuje EHK předpis. Konkrétně se jedná o hodnotu 0,05 g. Toto přisuzuji možným nepříznivým podmínkám při měření, nepřesnostem a odchylkám nebo lidskému faktoru.



Obr. 21 – graf brzdné dráhy všech vozidel

Z grafu brzdné dráhy vidím, že předpis EHK 13 splnily všechny verze testovaného vozidla bez problému. Nejvyšší dovolená hodnota, kterou bylo třeba dosáhnout se rovnala 36,69 metru. Tato hodnota je v grafu zaznačena červenou vodorovnou čarou.

7. Nejistota měření

V současnosti se při každém měření musí vyjádřit jeho nejistota. Nejistota měření je parametr, který je přiřazen k výsledku měření a charakterizuje rozptyl hodnot, které přiřazujeme k měřené veličině. Jedná se tedy o parametr charakterizující určitý rozptyl hodnot okolo naměřených hodnot, v němž s jistou pravděpodobností je hodnota pravá. Standardní nejistota je tedy nejistota daná směrodatnou odchylkou veličiny, pro kterou je ona nejistota udávána. Nejistoty měření také obsahují řadu složek vyplývajících z jiných druhů nejistot. Vyjádření přesnosti měření nejistotou předpokládá, že byly v první řadě vyloučeny systematické a hrubé chyby. Lze tedy říci, že byly vyloučeny systematické jevy, které bylo možno odstranit.

Nejistoty měření lze rozdělit do tří skupin podle způsobu vyhodnocení:

- Standardní nejistota typu A, značená symbolem u_A
- Standardní nejistota typu B, značená symbolem u_B ,
- Standardní nejistota typu C (kombinovaná nejistota), značená symbolem u_C .

7.1. Standardní nejistota typu A

Stanovuje se statistickým zpracováním naměřených hodnot. Nejprve se opakovaným měřením brzdného zpomalení d_m , resp. brzdné dráhy s a výpočtem aritmetického průměru stanoví odhad hodnoty d_m , resp. s . Standardní nejistota typu A $u_A(d_m)$ k odhadu d_m , resp. $u_A(s)$ k odhadu s je pak dána výběrovou směrodatnou odchylkou aritmetického průměru podle vztahu:

$$u_A(dm) = \sigma(\overline{dm}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (dm_i - \overline{dm})^2}{(n-1)}}$$

$u_A(dm)$... standardní nejistota typu A

$\sigma(\overline{dm})$... rozptyl aritmetického průměru

\overline{dm} ... aritmetický průměr brzdného zpomalení

dm_i ... i-té brzdné zpomalení vozidla

n ... počet měření

$$u_A(s) = \sigma(\bar{s}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (s_i - \bar{s})^2}{(n-1)}}$$

$u_A(s)$... Standartní nejistota typu A

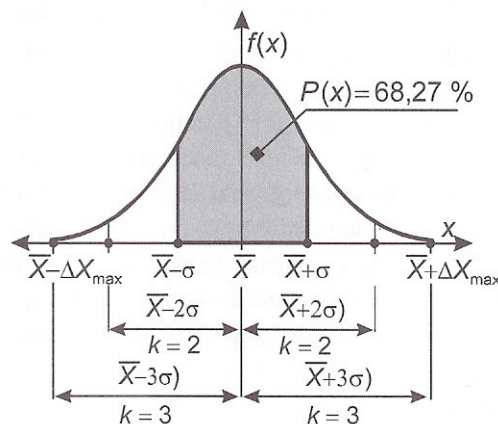
$\sigma(\bar{s})$... rozptyl aritmetického průměru

\bar{s} ... aritmetický průměr brzdné dráhy

s_i ... i-tá brzdná dráha vozidla

n ... počet měření

Statistické rozdělení odchylek od výběrového průměru (rozptyl) odpovídá normálnímu rozdělení (Gaussovu)



Obr. 22 - hustota normálního rozdělení pravděpodobnosti

Pro vyhodnocení dat jsem zvolil součinitel $k = 1$. To znamená že pravděpodobnost, že odchylka aritmetického průměru \overline{dm} a \bar{s} bude hodnota v intervalu $< +\sigma; -\sigma >$. Platí tedy, že pro interval $\overline{dm} \pm \sigma$ resp. $\bar{s} \pm \sigma$ plocha vymezuje pravděpodobnost 68,28 %.

Pro výpočet dolní a horní odchylky pak budou platit následující vztahy:

$$\text{horní odchylka} = \overline{dm} + u_A(dm)$$

$$\text{dolní odchylka} = \overline{dm} - u_A(dm)$$

Horní odchylka ... horní odchylka od aritmetického průměru brzdného zpomalení

Dolní odchylka ... dolní odchylka od aritmetického průměru brzdného zpomalení

\overline{dm} ... aritmetický průměr brzdného zpomalení

$u_A(dm)$... standartní nejistota typu A

$$\text{horní odchylka} = \bar{s} + u_A(s)$$

$$\text{dolní odchylka} = \bar{s} - u_A(s)$$

Horní odchylka ... horní odchylka od aritmetického průměru brzdného zpomalení

Dolní odchylka ... dolní odchylka od aritmetického průměru brzdného zpomalení

\bar{s} ... aritmetický průměr brzdné dráhy

$u_A(s)$... standartní nejistota typu A

7.2. Standartní nejistota typu B

Nejistota typu B není náhodného charakteru. Při opakovaných měřeních na sebe upozorňuje trvalým výskytem. Tuto nejistotu stanovím z charakteru měření bez statistického výpočtu. Jde o nedokonalosti způsobené technikou, metodami, měřicími přístroji, podmínkami zkoušky, popřípadě vlivem operátora. Jedná se o nejistotu přístroje, která je dána nejistotou výsledku přímého měření veličiny která má zanedbatelnou základní nejistotu. Při jejím určení tedy odhaduji maximální rozsah odchylek od naměřené hodnoty tak, aby mnou naměřená hodnota s co největší pravděpodobností ležela v tomto intervalu. V případě že v měřicím řetězci mám stanoveno více nejistot, tak výslednou nejistotu získám jejich geometrickým součtem.

V mém případě dle specifikací měřicího přístroje se jedná o odchylky rychlosti a dráhy. Odchylka rychlosti činí 0,1 km/h a odchylka dráhy činí 0,05% (tedy méně než 0,5 metru na každý kilometr)

$$u_B = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2}$$

u_B ... standartní nejistota typu B

u_{B1}^2 ... odchylka rychlosti měřicího přístroje Racelogic

u_{B2}^2 ... odchylka dráhy měřicího přístroje Racelogic

7.3. Kombinovaná nejistota

Skládá se z obou základních typů nejistot A a B. Spočítám ji pomocí vztahu:

$$u_c(dm) = \sqrt{u_A^2(dm) + u_B^2(dm)}$$

$u_c(dm)$... kombinovaná standardní nejistota

$u_A(dm)$... standardní nejistota typu A

$u_B(dm)$... standardní nejistota typu B

Tato nejistota mi udává, v jakém rozptylu od aritmetického průměru brzdného zpomalení (a obdobně brzdné dráhy) se naměřená data nacházejí. Dolní a horní mez těchto intervalů spočítám díky následujícím vztahům:

$$HMI = \overline{dm} - \frac{u_c(dm)}{2}$$

$$DMI = \overline{dm} + \frac{u_c(dm)}{2}$$

HMI ... horní mez intervalu brzdného zpomalení

DMI ... dolní mez intervalu brzdného zpomalení

\overline{dm} ... aritmetický průměr brzdného zpomalení vozidla

$u_c(dm)$... kombinovaná standardní nejistota

7.4. Ukázka výpočtu nejistot

Výpočet nejistot předvedu na následujícím modelovém příkladu. Jedná se o měření brzdného zpomalení a brzdné dráhy Tatry v provedení 4x4 s bubnovými brzdami bez vody v nádrži.

| Pokus č. | Průměrné zpomalení | Maximální zpomalení | Brzdná dráha |
|-----------------|--------------------|---------------------|--------------|
| 1 | -0,524998794 | -0,72287655 | 24,5408195 |
| 2 | -0,539802824 | -0,746387034 | 23,4435833 |
| 3 | -0,570615484 | -0,786609788 | 21,6329028 |
| 4 | -0,693032399 | -0,875553063 | 20,7509306 |
| 5 | -0,692352578 | -0,867338557 | 21,2649861 |
| 6 | -0,696612791 | -0,839579191 | 20,9925972 |
| 7 | -0,665821684 | -0,909260864 | 21,5215278 |
| 8 | -0,691174221 | -0,918325147 | 20,8460695 |
| 9 | -0,669504049 | -0,872153957 | 21,8968333 |
| 10 | -0,664165709 | -0,821733884 | 21,8001806 |
| 11 | -0,636681935 | -0,819751072 | 23,0482222 |
| 12 | -0,642735282 | -0,793408 | 22,3665278 |
| 13 | -0,624170962 | -0,802755542 | 23,0930417 |
| 14 | -0,615865408 | -0,772446846 | 22,6205972 |
| 15 | -0,579755302 | -0,804738354 | 24,0307778 |
| 16 | -0,573495282 | -0,766498411 | 22,26975 |
| 17 | -0,539466454 | -0,784910235 | 23,7777083 |
| 18 | -0,517402307 | -0,834197273 | 24,0839306 |
| 19 | -0,490677142 | -0,67670536 | 25,9082361 |
| střední hodnota | -0,624170962 | -0,804738354 | 22,3665278 |
| rozptyl | 0,004370425 | 0,003628107 | 1,8814882 |
| Směrodatná odch | 0,066109188 | 0,060233774 | 1,37167351 |
| průměr | -0,6120174 | -0,811327849 | 22,6257485 |

Obr. 23 – výpočet nejistot v programu Excel

Standardní nejistota typu A pro brzdné zpomalení pro tento soubor naměřených dat tedy je:

$$u_A(dm) = \sigma(\overline{dm}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (dm_i - \overline{dm})^2}{(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{19} (-11,6283 - 0,61202)^2}{(19-1)}} = 0,0679$$

Standardní nejistota typu B pro brzdné zpomalení potom:

$$u_B = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2} = \sqrt{0,05^2 + 0,1^2} = 0,1118$$

Kombinovaná nejistota po dosazení:

$$u_c(dm) = \sqrt{u_A^2(dm) + u_B^2(dm)} = \sqrt{0,0679^2 + 0,1118^2} = 0,1308$$

Z kombinované nejistoty potom vypočítám Dolní a Horní meze intervalů:

$$HMI = \overline{dm} - \frac{u_c(dm)}{2} = -0,61202 - \frac{0,1308}{2} = -0,5466$$

$$DMI = \overline{dm} + \frac{u_c(dm)}{2} = -0,61202 + \frac{0,1308}{2} = -0,6774$$

Tyto postupy aplikuji na všechna dostupná měření, která mám k dispozici a která jsou přiložena v elektronické příloze. Pokud některý pokus v daném měření nebude spadat do intervalu $\langle DMI ; HMI \rangle$, musím jej ze souboru vyloučit a dále s ním nepočítat a neanalyzovat jej.

8. Průběh experimentu a měření

Měření se bude odehrávat na polygonu Libros v Ostravě. Dle podmínek zkoušky musí být první pokus započat s nezahřátými brzdami a celé měření musí probíhat na vodorovné silnici za co nejmenšího vlivu okolí (tj. vítr, nepříznivé adhezní podmínky vozovky,...) Tyto podmínky musí být splněny při každém měření. Zkouška bude probíhat tak, že vozidlo bude uvedeno do pohybu na rychlost 60 km/h, poté se pilot pokusí zastavit v co nejkratším čase a na co nejkratší dráze. Následovat bude takto za sebou několik měření. Z důvodu kratší délky polygonu je vždy třeba po každém měření vozidlo otočit a provést další měření. Měřicí přístroj Racelogic bude po celou dobu zaznamenávat data, které bude poté třeba vyfiltrovat a použít jen vybrané úseky kde došlo k brzdnému manévru. K tomuto využiji program Excel. Takto změřím a vyhodnotím každou verzi vozidla, prázdnou a plnou. Celkem budu mít tedy k dispozici 6 souborů měření se kterými budu dále pracovat. Při měření se mohou vyskytnout náhodné chyby. Jsou to takové chyby, které vznikají náhodnými cizorodými vlivy, jako jsou změny teplot, tlaku vzduchu nebo nedokonalosti lidských smyslů (tj. reakční doba, schopnost vždy aplikovat na brzdový pedál stejnou sílu a podobně).



Obr. 24 – mapa polygonu Libros Ostrava s.r.o.

9. Pracovní prostředí Driftbox Tools

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, k měření byl použit přístroj Racelogic Vbox verze 3i. Starší verze tohoto přístroje jsem využil při praktické části v mé bakalářské práci. Výhodou novější verze je, že je přesnější, a sám přístroj je schopen zapisovat a měřit více dat. V mém případě se jednalo hlavně o měření brzdného zpomalení, které jsem musel u starší verze přístroje počítat sám ručně pomocí vzorce. Neměl jsem tak k dispozici přesné, a hlavně aktuální hodnoty v daném čase. Vbox 3i měří brzdné zpomalení v reálném čase (tedy každých 0,1 sekundy, se všemi ostatními hodnotami jako rychlost, ujetá dráha, příčné a podélné přetížení, ...) a jsem tak schopen určit průběhy při jednotlivých brzdných manévrech. Další zajímavou funkcí, které jsem využil byla schopnost přístroje měřit i náklon vozidla. K tomuto bylo využito externího náčiní, které jsem již popsal v kapitole o přístroji.

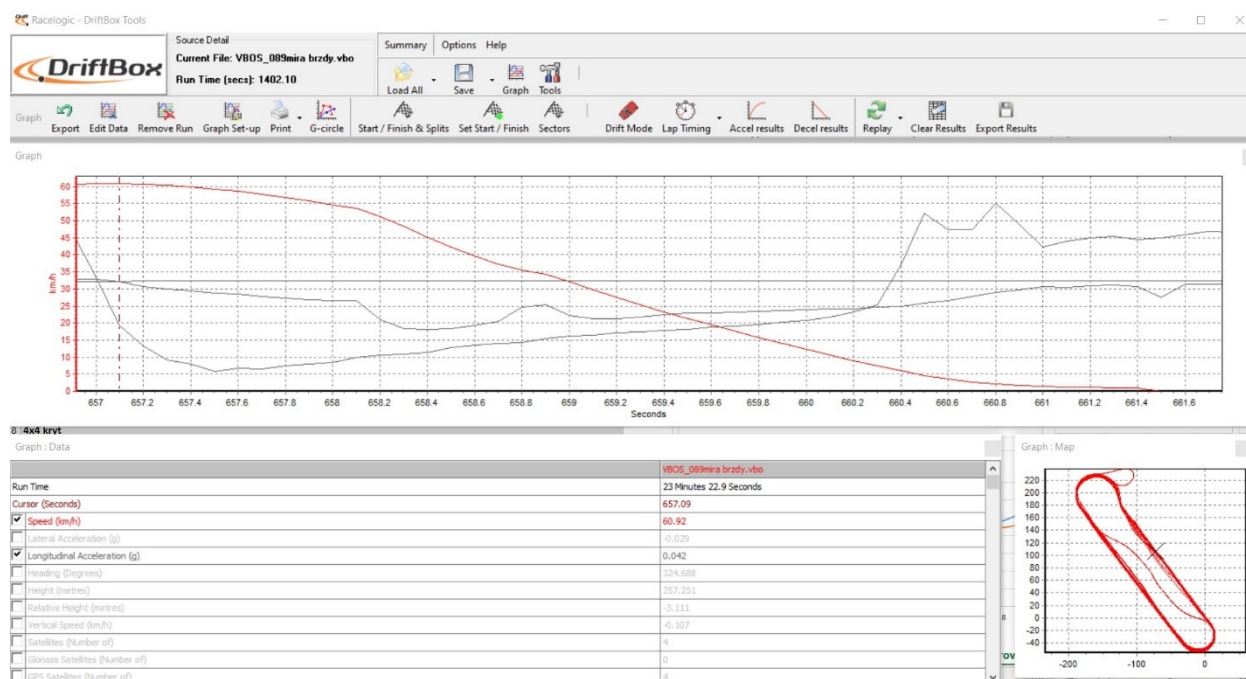
Ke zpracování dat z přístroje jsem využil software vyvinutý firmou Racelogic. K dispozici jsem měl na výběr z několika programů, mezi které patřil například VBOX Test Suite, což je hlavní program, který se nejčastěji využívá ke zpracování takovýchto dat. Já jsem sáhnul po prostředí, se kterým už mám zkušenost díky mé bakalářské práci. A protože jsem věděl, že budu potřebovat, aby byl program schopen exportovat data do excelu kde je budu dále zpracovávat a pracovat s nimi, byl pro mě Driftbox Tools jasná volba.

Při měření ve vozidle byl přístroj spouštěn manuálně vždy na začátku měření a po skončení byl opět manuálně vypnut. Přístroj měřil nepřetržitě všechny veličiny. Z těch jsem si poté v prostředí Driftbox označil ty, které chci zobrazit v grafu. Na ose Y je nyní zobrazena červenou barvou rychlost v kilometrech za hodinu a na X ose je celý měřený úsek – tedy časová osa v sekundách. Na svislé ose jsem si dále nechal vykreslit ujetou celkovou dráhu s [s], brzdné zpomalení d_m [g] a podélný náklon vozidla [°].



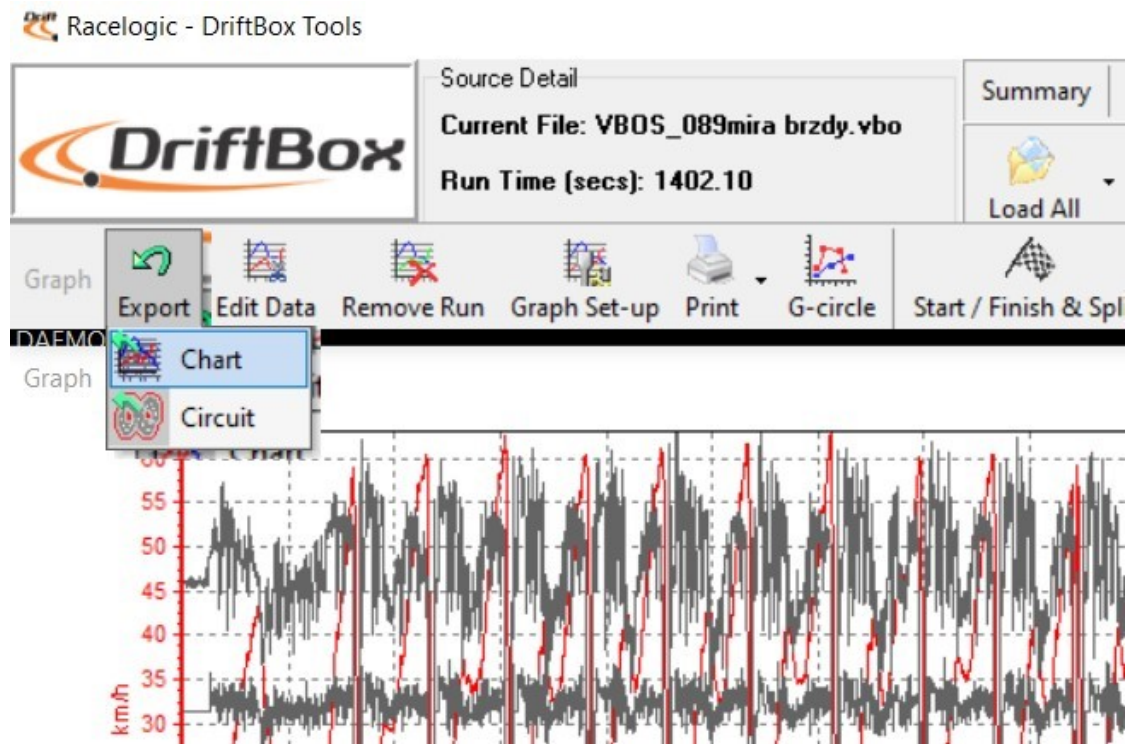
Obr. 25 – uživatelské prostředí programu DriftBox Tools

Při přiblížení vidím jeden z brzdných manévřů:



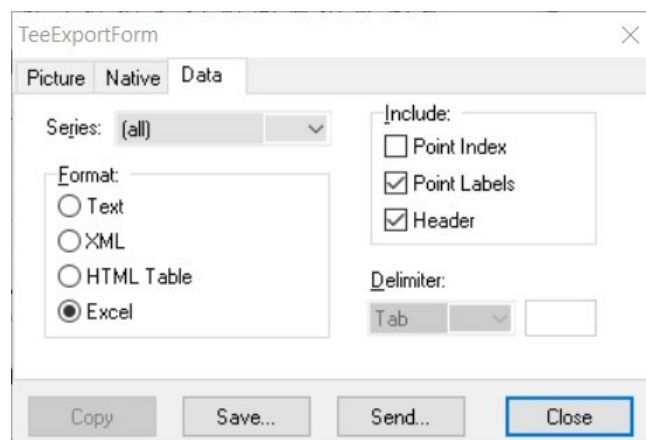
Obr. 26 – přiblížení jednoho z brzdných úkonů

Takto vykreslený graf jsem si nyní musel vyexportovat do excelu, abych mohl data zpracovat. Program má tuto funkci implementovanou v sobě, takže jsem nemusel data při každém brzděném manévru ručně odpisovat z přiblíženého posuvníku grafu. Bohužel mi v programu nešla vyexportovat jen přibližná část, proto jsem musel vyexportovat vždy celé měření a dále s ním pracovat v programu Excel.



Obr. 27 – export dat do Excelu

Program disponuje mnoho možnostmi, jak lze data exportovat. Pro mě byla nejvhodnější možnost exportu přímo do Excelu:



Obr. 28 – export dat do excelu

Surová vyexportovaná data pak vypadala následovně. Sloupeček X vždy značí časový údaj, sloupeček Y k němu přiřazuje mnou vybranou hodnotu, kterou jsem chtěl zobrazit. Časový údaj mi samozřejmě stačil vždy zobrazit jen jedenkrát, proto jsem ponechal pouze sloupeček A a ostatní sloupečky s nadpisem X (tj. sloupce C, E, G, I) jsem smazal, abych se v datech lépe orientoval a byly přehlednější. Sloupec s nadpisem Y potom značí:

- sloupec B – rychlost
- sloupec F – brzdné zpomalení
- sloupec H – ujetá celková dráha
- sloupec J – podélné naklonění vozidla.

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q |
|----|---|-----|---|---|---|-----|---|-----|-------------|-----|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | | | | | | | |
| 2 | | 0 | 0 | | | 0 | 0 | 0 | -0,0500071 | 0 | 0 | | | | | | |
| 3 | | 0,1 | 0 | | | 0,1 | 0 | 0,1 | -0,0900071 | 0,1 | 0 | | | | | | |
| 4 | | 0,2 | 0 | | | 0,2 | 0 | 0,2 | -0,110007 | 0,2 | 0 | | | | | | |
| 5 | | 0,3 | 0 | | | 0,3 | 0 | 0,3 | -0,120007 | 0,3 | 0 | | | | | | |
| 6 | | 0,4 | 0 | | | 0,4 | 0 | 0,4 | -0,130007 | 0,4 | 0 | | | | | | |
| 7 | | 0,5 | 0 | | | 0,5 | 0 | 0,5 | -0,0900071 | 0,5 | 0 | | | | | | |
| 8 | | 0,6 | 0 | | | 0,6 | 0 | 0,6 | -0,0800072 | 0,6 | 0 | | | | | | |
| 9 | | 0,7 | 0 | | | 0,7 | 0 | 0,7 | -0,0700072 | 0,7 | 0 | | | | | | |
| 10 | | 0,8 | 0 | | | 0,8 | 0 | 0,8 | -0,0500071 | 0,8 | 0 | | | | | | |
| 11 | | 0,9 | 0 | | | 0,9 | 0 | 0,9 | -0,0900071 | 0,9 | 0 | | | | | | |
| 12 | | 1 | 0 | | | 1 | 0 | 1 | -0,100007 | 1 | 0 | | | | | | |
| 13 | | 1,1 | 0 | | | 1,1 | 0 | 1,1 | -0,110007 | 1,1 | 0 | | | | | | |
| 14 | | 1,2 | 0 | | | 1,2 | 0 | 1,2 | -0,110007 | 1,2 | 0 | | | | | | |
| 15 | | 1,3 | 0 | | | 1,3 | 0 | 1,3 | -0,100007 | 1,3 | 0 | | | | | | |
| 16 | | 1,4 | 0 | | | 1,4 | 0 | 1,4 | -0,0400072 | 1,4 | 0 | | | | | | |
| 17 | | 1,5 | 0 | | | 1,5 | 0 | 1,5 | -0,0600072 | 1,5 | 0 | | | | | | |
| 18 | | 1,6 | 0 | | | 1,6 | 0 | 1,6 | -0,0800072 | 1,6 | 0 | | | | | | |
| 19 | | 1,7 | 0 | | | 1,7 | 0 | 1,7 | -0,0700072 | 1,7 | 0 | | | | | | |
| 20 | | 1,8 | 0 | | | 1,8 | 0 | 1,8 | -0,0700072 | 1,8 | 0 | | | | | | |
| 21 | | 1,9 | 0 | | | 1,9 | 0 | 1,9 | -0,17000701 | 1,9 | 0 | | | | | | |
| 22 | | 2 | 0 | | | 2 | 0 | 2 | -0,100007 | 2 | 0 | | | | | | |
| 23 | | 2,1 | 0 | | | 2,1 | 0 | 2,1 | -0,140007 | 2,1 | 0 | | | | | | |
| 24 | | 2,2 | 0 | | | 2,2 | 0 | 2,2 | -0,0700072 | 2,2 | 0 | | | | | | |
| 25 | | 2,3 | 0 | | | 2,3 | 0 | 2,3 | -0,0400072 | 2,3 | 0 | | | | | | |
| 26 | | 2,4 | 0 | | | 2,4 | 0 | 2,4 | -0,0400072 | 2,4 | 0 | | | | | | |
| 27 | | 2,5 | 0 | | | 2,5 | 0 | 2,5 | -0,0900071 | 2,5 | 0 | | | | | | |
| 28 | | 2,6 | 0 | | | 2,6 | 0 | 2,6 | -0,110007 | 2,6 | 0 | | | | | | |
| 29 | | 2,7 | 0 | | | 2,7 | 0 | 2,7 | -0,110007 | 2,7 | 0 | | | | | | |

Obr. 29 – vyexportované neupravené data v Excelu

Sloupce jsem nakopíroval vedle sebe a poté bylo třeba abych data vytřídil. Jednalo se totiž o soubory, kdy měření probíhalo i desítky minut, souboryxlsx pak měly několik tisícovek řádků a většina dat tak byla pro mé potřeby nepoužitelná. Z prvních dvou sloupečků času a rychlosti jsem si tedy vytvořil graf, kde jsem viděl na přibližně kterých řádcích (v jakém čase)

docházelo k brzdění a nepotřebné řádky jsem skryl. Z takto vyfiltrovaných dat, kdy jsem měl tedy zobrazeny už jen brzdné manévry, jsem vytvořil hned vedle tabulku, kde jsem za pomoci funkce PRŮMĚR a MIN vypočítal průměrné brzdné zpomalení a podélné naklopení během každého brzdného manévru. Brzdnou dráhu jsem poté spočítal tak, že jsem od celkové ujeté dráhy na konci každého brzdného manévru odečetl dráhu, kdy došlo k započetí daného brzdného manévru. Pro přehled jsem vždy do posledního sloupce zadal souřadnice, odkud jsem dané data čerpal.

| 1 | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N |
|-----|----------|-----------|----------|-----------|----------|----------|----|--------------------|---------------------|--------------|--------------------|---------------------|---------------|---|
| čas | rychlost | zrychlení | dráha | naklopení | | Pokus č. | | Průměrné zpomalení | Maximální zpomalení | Břzdná dráha | Průměrné naklopení | Maximální naklopení | | |
| 666 | 66,4 | 60,256 | -0,06798 | 560,3442 | -3,48001 | | 1 | -0,457038132 | -0,936736972 | 35,6183333 | -4,958340303 | -7,400006771 | (C666;C701) | |
| 667 | 66,5 | 59,857 | -0,11302 | 562,0124 | -5,75001 | | 2 | -0,618283225 | -0,763949081 | 23,0203889 | -6,376078406 | -7,110006809 | (C1083;C1110) | |
| 668 | 66,6 | 58,952 | -0,25635 | 563,6625 | -6,49001 | | 3 | -0,372122059 | -0,742987928 | 31,8215 | -3,863485318 | -7,570006847 | (C1428;C1473) | |
| 669 | 66,7 | 58,047 | -0,25635 | 565,2875 | -6,58001 | | 4 | -0,665516636 | -0,89821377 | 22,0108611 | -6,943468497 | -7,790007114 | (C1821;C1846) | |
| 670 | 66,8 | 57,279 | -0,21754 | 566,8893 | -5,95001 | | 5 | -0,695241818 | -0,845244367 | 21,0255833 | -7,297606993 | -8,050006866 | (C2595;C2619) | |
| 671 | 66,9 | 56,673 | -0,17165 | 568,4719 | -6,32001 | | 6 | -0,578981061 | -0,811536566 | 21,5109445 | -6,019007044 | -7,970006943 | (C2971;C3000) | |
| 672 | 67 | 56,151 | -0,14786 | 570,0389 | -6,55001 | | 7 | -0,700238504 | -0,835896826 | 20,7627917 | -7,228006992 | -8,020007133 | (C3358;C3382) | |
| 673 | 67,1 | 55,653 | -0,14106 | 571,5918 | -7,71001 | | 8 | -0,639923675 | -0,826266025 | 22,5440417 | -6,804081078 | -7,710007191 | (C3728;C3754) | |
| 674 | 67,2 | 55,146 | -0,14361 | 573,1306 | -7,40001 | | 9 | -0,662041268 | -0,790858671 | 21,3791667 | -6,863083931 | -7,560007095 | (C4134;C4159) | |
| 675 | 67,3 | 54,437 | -0,20083 | 574,6526 | -6,86001 | | 10 | -0,642829701 | -0,763382564 | 21,4775695 | -6,701488468 | -7,560007095 | (C4498;C4524) | |
| 676 | 67,4 | 53,247 | -0,33708 | 576,1482 | -6,90001 | | 11 | -0,622218499 | -0,774996176 | 22,4145695 | -6,507864177 | -7,640007019 | (C4874;C4901) | |
| 677 | 67,5 | 51,845 | -0,39713 | 577,6078 | -6,86001 | | 12 | -0,617494147 | -0,779528317 | 21,3407917 | -6,302506966 | -7,69000721 | (C5288;C5315) | |
| 678 | 67,6 | 50,313 | -0,43395 | 579,0267 | -6,32001 | | 13 | -0,576611129 | -0,745820516 | 24,1899028 | -5,998340329 | -7,210007191 | (C5631;C6043) | |
| 679 | 67,7 | 48,68 | -0,46256 | 580,4016 | -6,70001 | | 14 | -0,553204507 | -0,723159809 | 23,7154167 | -5,788071452 | -7,400006771 | (C6013;C6043) | |
| 680 | 67,8 | 46,949 | -0,49032 | 581,7298 | -7,01001 | | 15 | -0,535642459 | -0,794541036 | 24,4904306 | -5,635319501 | -7,120007038 | (C6404;C6435) | |
| 681 | 67,9 | 45,149 | -0,50987 | 583,0089 | -6,97001 | | 16 | -0,506808376 | -0,777828764 | 25,0922917 | -5,247359909 | -6,820006847 | (C6784;C6817) | |
| 682 | 68 | 43,284 | -0,52828 | 584,2372 | -6,36001 | | 17 | -0,479801127 | -0,723443068 | 24,9347361 | -4,866951462 | -7,140007019 | (C7168;C7203) | |

Takto jsem zpracoval data pro všechny měření. Z každého měření jsem spočítal následující:

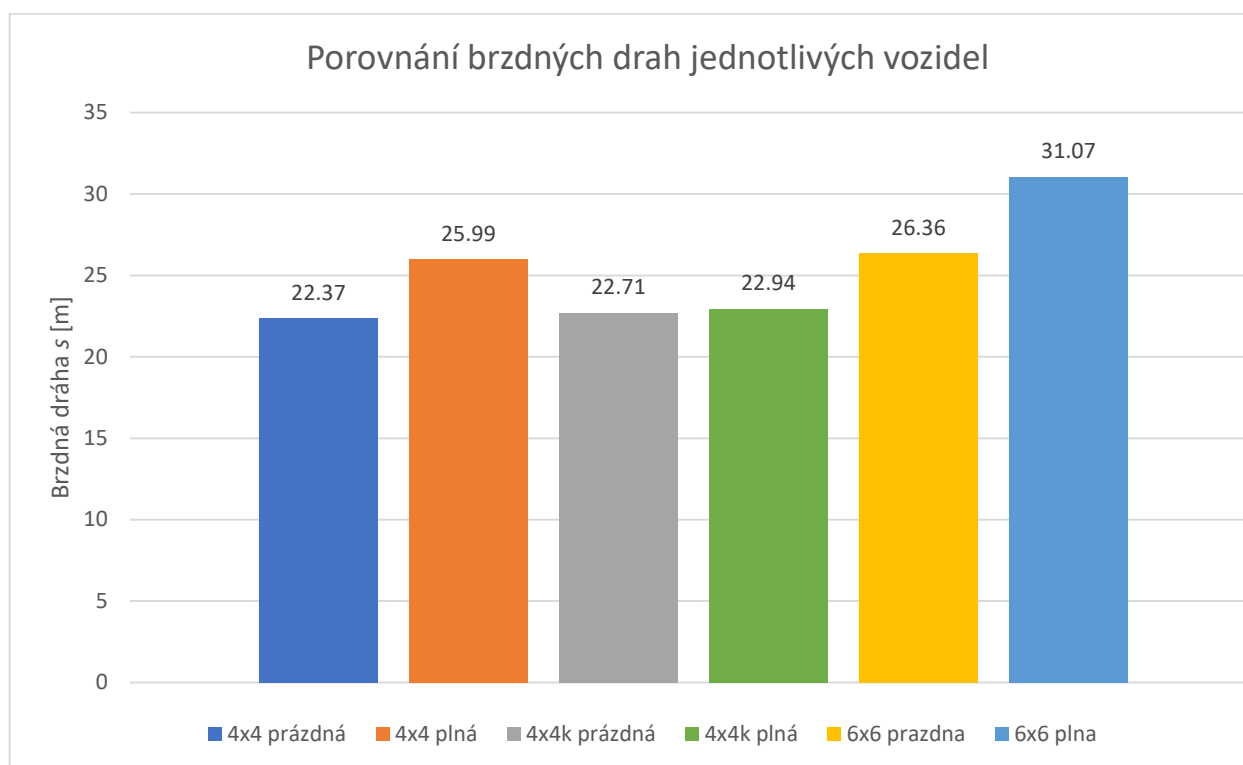
- Střední hodnotu pomocí příkazu **MEDIAN**
- Rozptyl pomocí příkazu **VAR.P**
- Směrodatnou odchylku pomocí příkazu **SMODCH.P**
- Průměr pomocí příkazu **PRŮMĚR**

| | A | B | C | D | E | F |
|----|---------------------|--|---|------------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 1 | | Průměrné zpomalení d_m | Maximální zpomalení d_m | Brzdná dráha s | Průměrné naklopení | Maximální naklopení |
| 2 | | [g] | [g] | [m] | [°] | [°] |
| 3 | 4x4 prázdná | | | | | |
| 4 | střední hodnota | 0,624170962 | -0,804738354 | 22,36652778 | -6,935562549 | -9,110007286 |
| 5 | rozptyl | 0,004370425 | 0,003628107 | 1,881488205 | 0,562645867 | 0,453914892 |
| 6 | Směrodatná odch | 0,066109188 | 0,060233774 | 1,371673505 | 0,750097238 | 0,673732063 |
| 7 | průměr | 0,6120174 | -0,811327849 | 22,62574855 | -6,686896385 | -9,011059786 |
| 8 | 4x4 prázdná | | | | | |
| 9 | střední hodnota | 0,617494147 | -0,779528317 | 22,54404167 | -6,302506966 | -7,560007095 |
| 10 | rozptyl | 0,007656527 | 0,00320525 | 14,93739003 | 0,824656021 | 0,116377882 |
| 11 | Směrodatná odch | 0,087501584 | 0,056614927 | 3,864891981 | 0,908105732 | 0,341142026 |
| 12 | průměr | 0,58376449 | -0,796140615 | 23,96172468 | -6,082415343 | -7,515301115 |
| 13 | 4x4 plná | | | | | |
| 14 | střední hodnota | 0,508101975 | -0,770039146 | 25,98949306 | -5,283160283 | -7,100009918 |
| 15 | rozptyl | 0,005909116 | 0,005215822 | 11,48696301 | 0,759848343 | 0,335254343 |
| 16 | Směrodatná odch | 0,076870777 | 0,07222065 | 3,389242248 | 0,871692803 | 0,579011522 |
| 17 | průměr | 0,514388396 | -0,782124857 | 26,65977933 | -5,262132674 | -7,038898839 |
| 18 | 4x4 kryt | | | | | |
| 19 | střední hodnota | 0,559518438 | -0,686619419 | 25,47679167 | -5,840006982 | -6,550006866 |
| 20 | rozptyl | 0,001868936 | 0,002723847 | 3,500018145 | 0,196201134 | 0,227682687 |
| 21 | Směrodatná odch | 0,043231196 | 0,052190491 | 1,870833543 | 0,442945972 | 0,47716107 |
| 22 | průměr | 0,558624196 | -0,702156166 | 25,5880139 | -5,764529426 | -6,459319512 |
| 23 | | | | | | |
| 24 | 4x4k prázdná | | | | | |
| 25 | střední hodnota | 0,626103192 | -0,850909544 | 22,70943056 | -6,621614128 | -7,680006981 |
| 26 | rozptyl | 0,001308394 | 2,216224754 | 1,054153767 | 0,187496594 | 0,097092718 |
| 27 | Směrodatná odch | 0,036171733 | 1,488699014 | 1,026719907 | 0,433008768 | 0,311597044 |
| 28 | průměr | 0,62940684 | -1,186270066 | 22,57918959 | -6,562629682 | -7,726506996 |
| 29 | 4x4 kotouče | | | | | |
| 30 | střední hodnota | 0,664579703 | -0,829240243 | 21,69663889 | -6,942699298 | -7,770006895 |
| 31 | rozptyl | 0,000168146 | 0,001662198 | 0,405369904 | 0,009491043 | 0,019566669 |
| 32 | Směrodatná odch | 0,012967114 | 0,040770062 | 0,636686661 | 0,097421983 | 0,13988091 |
| 33 | průměr | 0,661986459 | -0,834527741 | 21,81422454 | -6,912414397 | -7,820007006 |

Obr. 30 – souhrnná tabulka všech výsledků

10.Brzdná dráha

Dle předpisu EHK 13-H musí být brzdná dráha s vozidla kategorie M2, M3, N1, N2 a N3 kratší než 36,7 metru. V mém měření všechny typy vozidla, tedy vozidla s pohonem 4x4 s bubnovými brzdami, 4x4 s kotoučovými brzdami i vozidla 6x6 s bubnovými brzdami splnily tuto podmínku s poměrně bezpečnou rezervou. **Nejlepšího** průměrného výsledku dosáhlo vozidlo s pohonem **4x4 a bubnovými brzdami**, které dosáhlo úplného zastavení při uražení dráhy **22,367 metru**. Toto vozidlo nebylo naplněno kapalinou.



Obr. 31 – graf porovnání brzdných drah jednotlivých vozidel

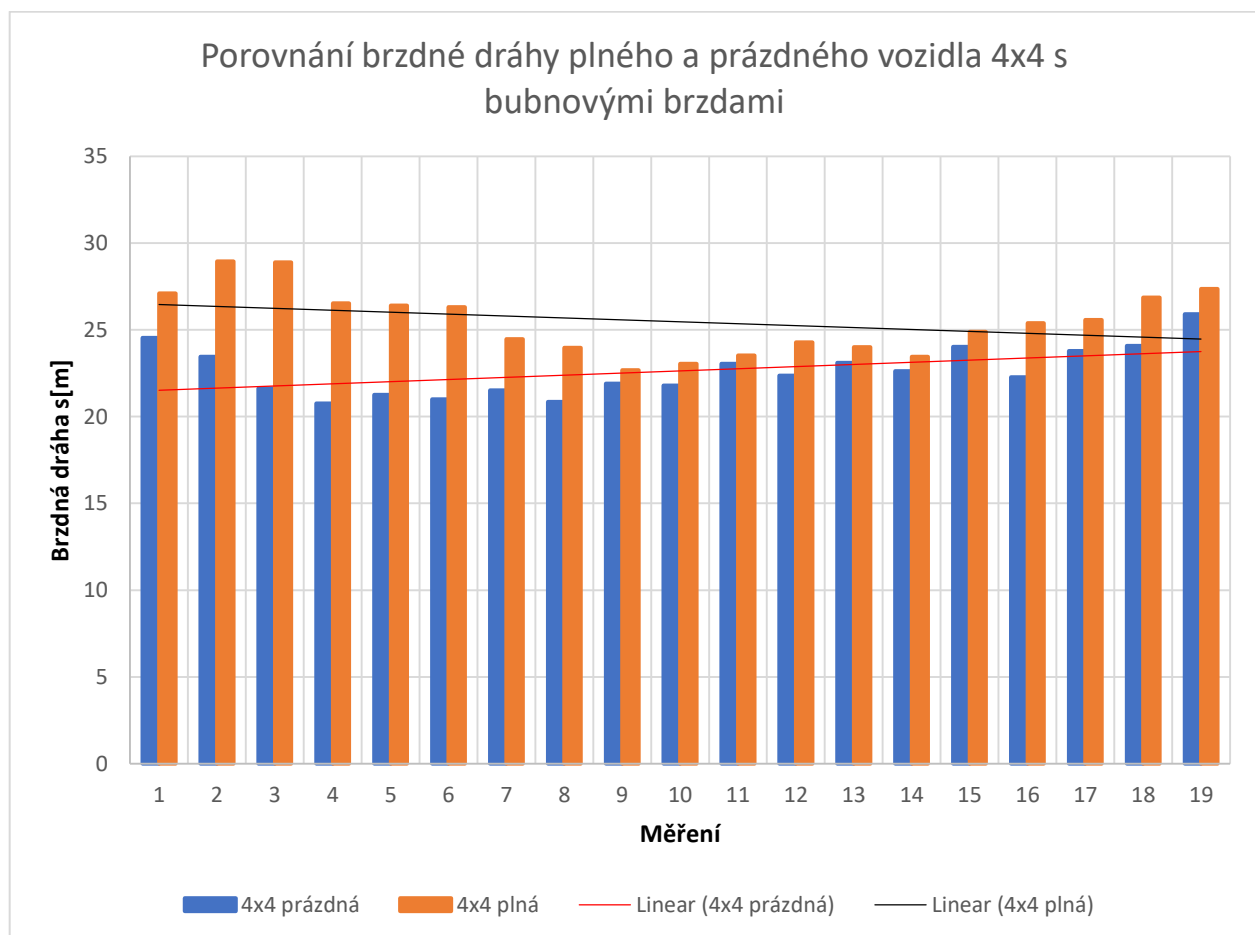
Z grafu lze vyčíst, že nejlepší (nejkratší) brzdné dráhy dosáhlo prázdné vozidlo s pohonem 4x4 a bubnovými brzdami, jako jsem už zmínil výše. Tento výsledek byl očekáván díky konstrukci bubnových brzd a jejich účinnosti oproti brzdám kotoučovým. Pokud by k takovému namáhání samozřejmě docházelo častěji, což se dá v běžném provozu očekávat (hlavně díky prostředí, ve kterém se vozidlo bude nejčastěji pohybovat – tj. delší úseky kde vozidlo nabere rychlost, a poté bude nuceno často zpomalovat kvůli ostatním účastníkům dopravního provozu či nátuře komunikace), brzdy by díky vysoké teplotě postupně vadly a ztratily by požadovaný účinek. K takovému případu v našem konkrétním případě nedošlo, ale

lze pozorovat jistý trend závislosti teploty brzd na brzdě dráze, který si ukážeme dále v této práci. Druhého nejlepšího výsledku bylo dosaženo v případě vozidla se stejným typem pohonu, avšak toto vozidlo bylo vybaveno brzdami kotoučovými. Rozdíl mezi pomyslným prvním a druhým místem je pouhých 0,34 metru. Ještě menšího rozdílu bylo dosaženo mezi zmíněným vozidlem 4x4 s kotoučovými brzdami bez kapaliny a tím stejným vozidlem které bylo naplněno kapalinou. Rozdíl v brzdě dráze činil v tomto případě pouhých 0,23 metru. U vozidla s pohonem 6x6 bylo dosaženo nejdelší brzdě dráhy ze všech testovaných vozidel. Vozidlo je jednoznačně nejtěžší, a hlavně proto byla jeho brzdě dráha delší.

10.1. Porovnání brzdné dráhy – prázdné vs plné vozidlo

10.1.1. Vozidlo 4x4 – bubnová brzda

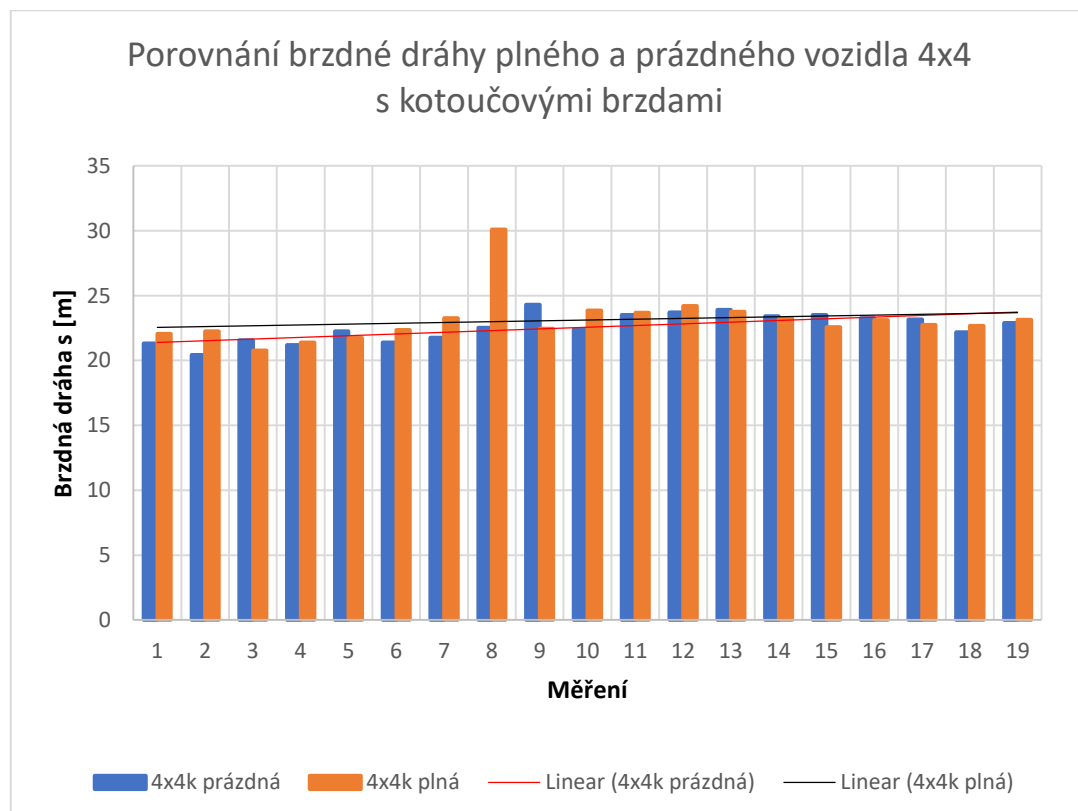
Jako první se budu věnovat porovnání brzdných drah vozidla 4x4 s bubnovými brzdami. Podle grafu jednoznačně vidím, že brzdná dráha prázdného vozidla byla v každém měření nižší než brzdná dráha plného vozidla. Od 1. až do 9 měření byl rozdíl poměrně velký. Toto přisuzuji tomu, že brzdy se pro danou zátěž musely dostat do provozní teploty, při které fungují nejlépe. Od 9. do 15. měření byly brzdné dráhy vozidla téměř identické. Od 14. měření u plného vozidla, a od 16.-17. měření u prázdného vozidla dále můžeme pozorovat jistý trend, který je pro bubnové brzdy typický více než pro kotoučové, a to tzv. vadnutí brzd. Jedná se o jev, při kterém se snižuje brzdný účinek při několikanásobném intenzivním zpomalení, které zahřeje brzdy nad jejich provozní teplotu. Materiál destiček i bubnu (popřípadě kotoučů) se rozzhává a začne se odpařovat. Tím mezi destičkou a kotoučem vznikne vrstva plynu, která brání vzájemnému kontaktu. Z grafu vidím, že tohoto momentu vozidlo s plnou nádrží na vodu dosáhlo mnohem dříve než prázdné vozidlo (konkrétně ve 14. měření vs 17. měření)



Obr. 32 – graf porovnání brzdné dráhy plného a prázdného 4x4 vozidla (bubnové brzdy)

10.1.2. Vozidlo 4x4 – kotoučová brzda

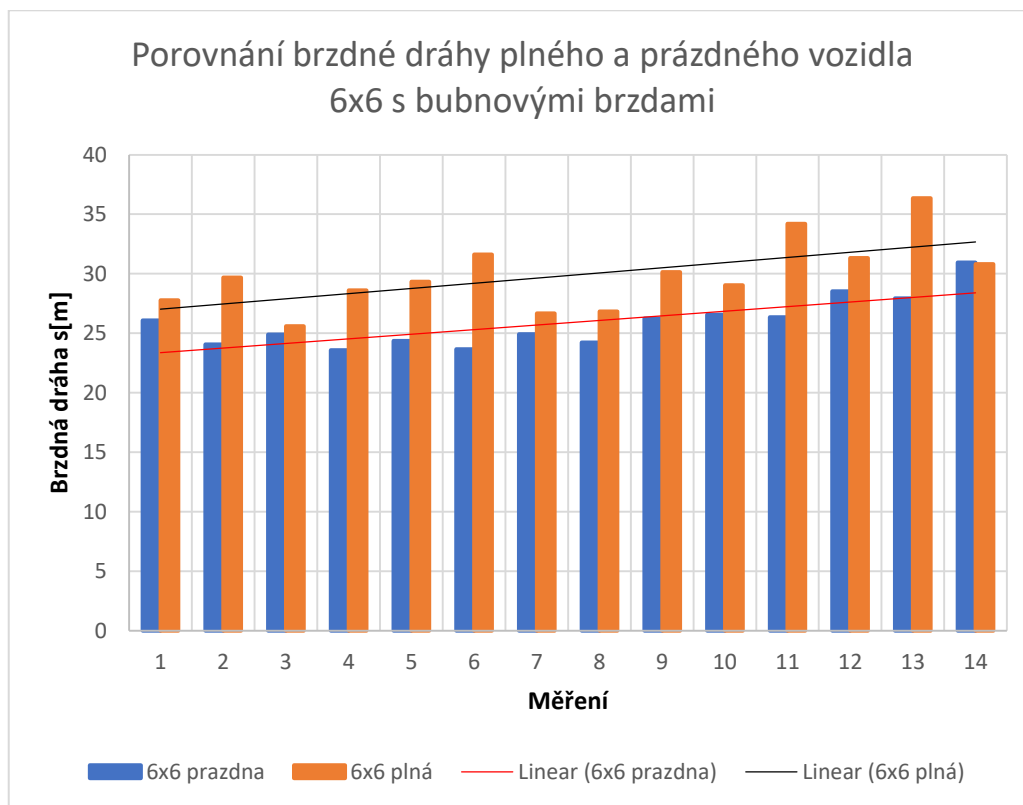
Další v pořadí bylo testováno vozidlo 4x4 vybaveno brzdami kotoučovými. Z grafu lze vyčíst, že brzdná dráha vozidla prázdného se oproti plnému vozidlu příliš nelišila. To je velmi dobrý výsledek, protože poukazuje na stálost a předvídatelnost brzd. Zkušený pilot tedy ví, jaký průběh brzdění má v případě nutného náhlého zastavení očekávat a přizpůsobí tomu svou jízdu. Oproti bubnovým brzdám dále pozorujeme že po celou dobu testování nedošlo k vadnutí brzd. Jedná se o jednu z hlavních výhod kotoučových brzd oproti brzdám bubnovým. Důvodem pro absenci tohoto nepříznivého jevu je to, že plocha mezi brzdovými destičkami a (v tomto případě) kotoučem není uzavřená jako tomu je u bubnu, a tím pádem jsou styčné plochy mnohem lépe větrány a chlazeny, a plyny které vzniknou při zahřátí brzdového kotouče a destičky jsou dostatečně odvětrávány. Brzda si pak udržuje ideální provozní teplotu a její funkce není nijak nepříznivě ovlivněna. V grafu vidím skokové zvýšení brzdné dráhy plného vozidla v měření č. 8. Tento abnormální jev mohl nastat z několika příčin, jako je například nečistota na vozovce (která by snížila adhezní podmínky) nebo jiným vnějším faktorem. Toto navýšení brzdné dráhy nepřisuzuji účinku brzd.



Obr. 33 – graf porovnání brzdné dráhy plného a prázdného 4x4 vozidla (kotoučové brzdy)

10.1.3. Vozidlo 6x6 – bubnová brzda

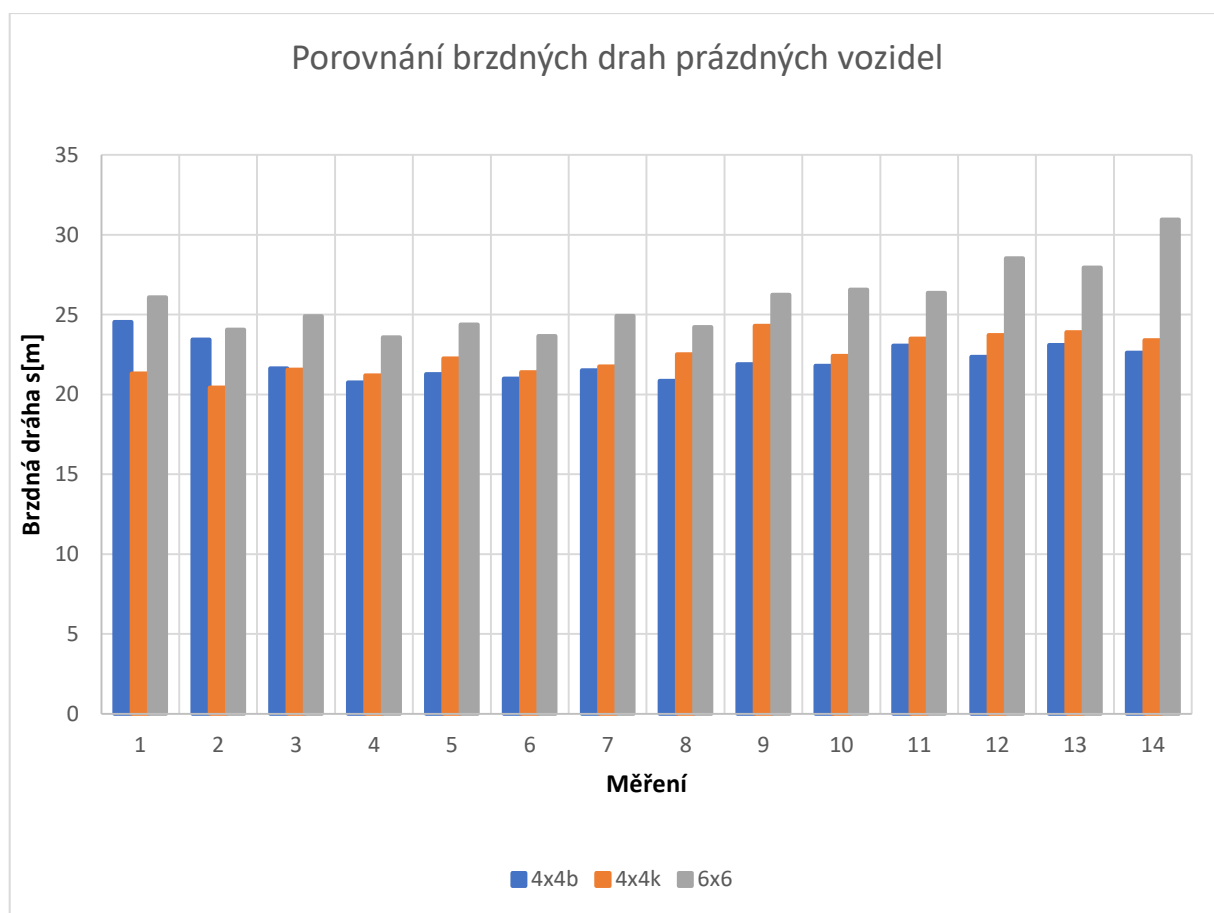
Jako poslední v pořadí proběhlo měření vozidla s pohonem 6 kol, které bylo vybaveno bubnovými brzdami. Na grafu níže mohou odpozorovat jednoznačný výsledek, a to ten, že plné vozidlo nedosáhlo v žádném okamžiku měření kratší brzdné dráhy než prázdné vozidlo. Podle prvního grafu v této kapitole také vidím, že průměrná brzdná dráha prázdného vozidla 6x6 byla dokonce vyšší než brzdná dráha plného vozidla 4x4 se stejným typem brzd. Z grafu lze dále vyčíst (konkrétněji z křivky prázdného vozidla) že brzdné dráhy cca 25 metrů bylo dosaženo téměř vždy až do 9 měření, kdy začala brzdná dráha s každým dalším měřením stoupat. Pozorujeme zde tedy stejný trend jako u vozidla s pohonem 4x4 (b), kdy při dosažení vyšší teploty brzd opakovaným měřením bez možnosti zchlazení začaly brzdy vadnout a brzdná dráha se začala prodlužovat. Rozdíl brzdné dráhy mezi měření, kde byly brzy ještě v optimální provozní teplotě (měření 8) a posledním měřením (14) je více než 5 metrů. Stejný trend samozřejmě pozorujeme i u plného vozidla. U plného vozidla lze také sledovat, že brzdná dráha se měření od měření dost měnila. Stalo se tak nejspíše proto, že vozidlo s plnou nádrží vody je méně stabilní a brzdný manévr se musí více korigovat, než je tomu u prázdného vozidla. Nejspíše se tedy jednalo o vliv lidského faktoru.



Obr. 34 – graf porovnání brzdné dráhy plného a prázdného 6x6 vozidla (bubnové brzdy)

10.2. Brzdná dráha – prázdná vozidla

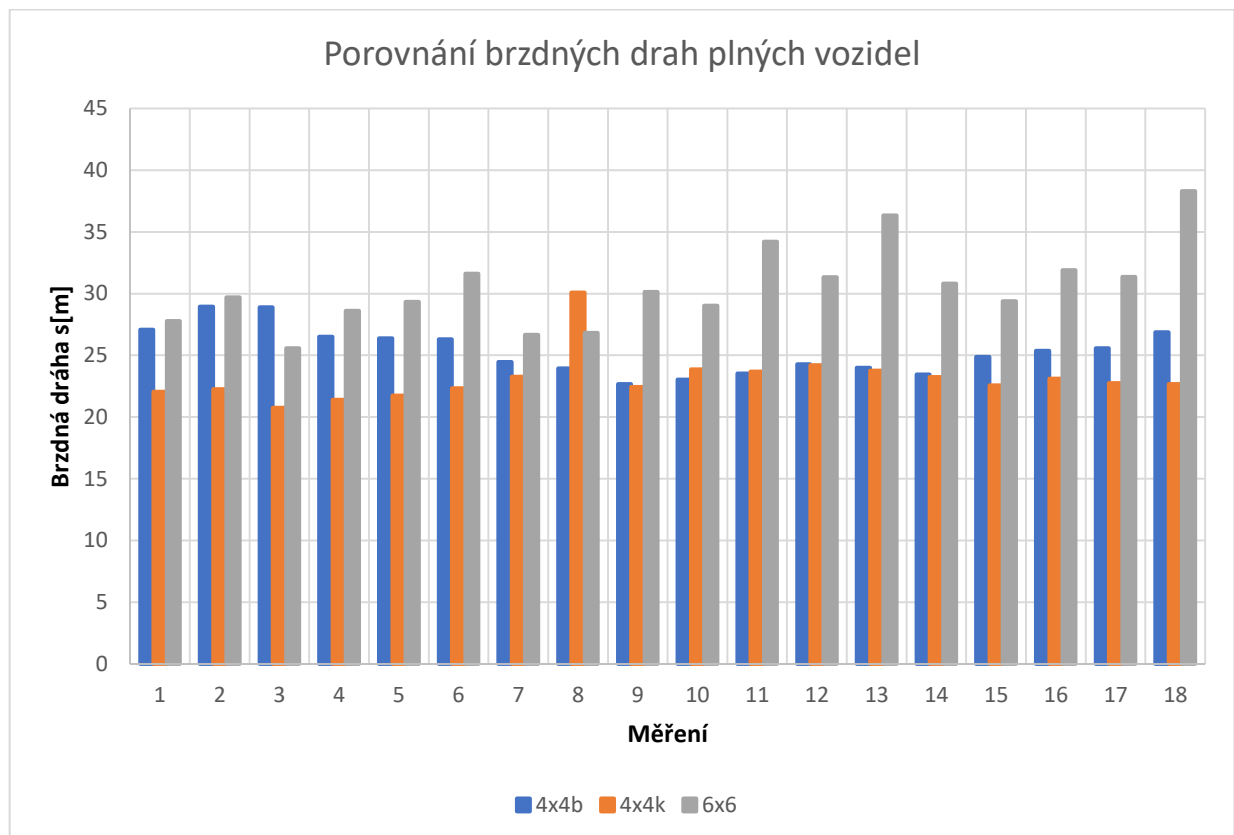
Všechny brzdné dráhy prázdných vozidel sledují podobný trend. Jejich směrodatná odchylka není příliš velká, křivky tedy mají hladký průběh. Brzdné dráhy obou typů vozidel s pohonem 4x4 se moc neliší. Z grafu lze odpozorovat že po uvedení bubnových brzd do provozní teploty byla brzdná dráha daného vozidla dokonce soustavně kratší než u alternativních – kotoučových brzd. Jak už jsem však zmínil v předchozí podkapitole, vadnutí brzd zde bude hrát velkou roli kvůli povaze provozu, ve které je vozidlo primárně provozováno. Brzdná dráha vozidla 6x6 je samozřejmě podstatně delší ve všech provedených měřeních.



Obr. 35 – graf porovnání brzdných drah prázdných vozidel

10.3. Brzdná dráha – plná vozidla

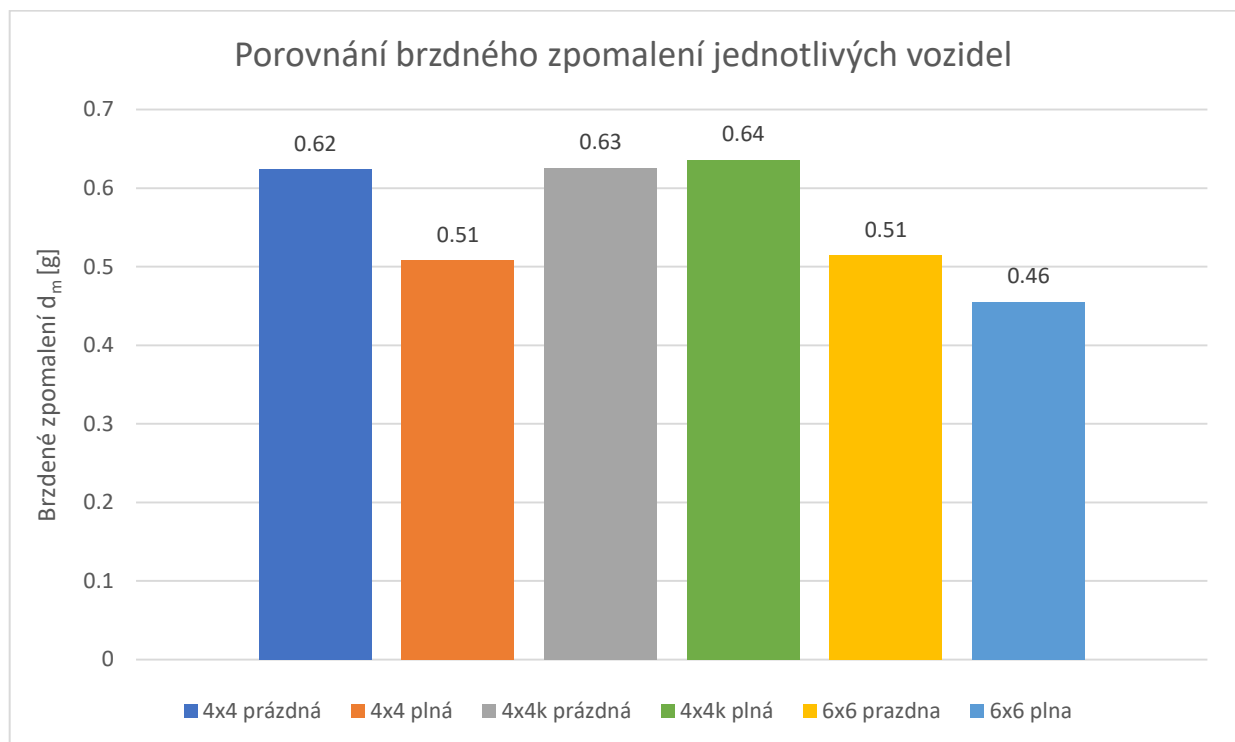
Oproti grafu brzdných drah prázdných vozidel v předchozí podkapitole lze pozorovat značný rozdíl v průběhu jednotlivých křivek. Porovnáme-li průběhy s předchozím grafem pro vozidla typu 4x4, vidím že podobných výsledků dosáhla zmíněná vozidla až při 7. měření (oproti prázdným vozidlům, kdy se brzdné dráhy „sladily“ již při 3. měření) a podobných hodnot dosahovaly až do měření č. 14, kde bubnové brzdy začaly vadnout a jejich brzdná dráha se zvýšila. Rovněž vidím, že brzdné dráhy vozidla 6x6 se měření od měření velmi lišily. Domnívám se, že tento jev byl způsoben převážně lidským faktorem.



Obr. 36 – graf porovnání brzdných drah plných vozidel

11. Brzdné zpomalení

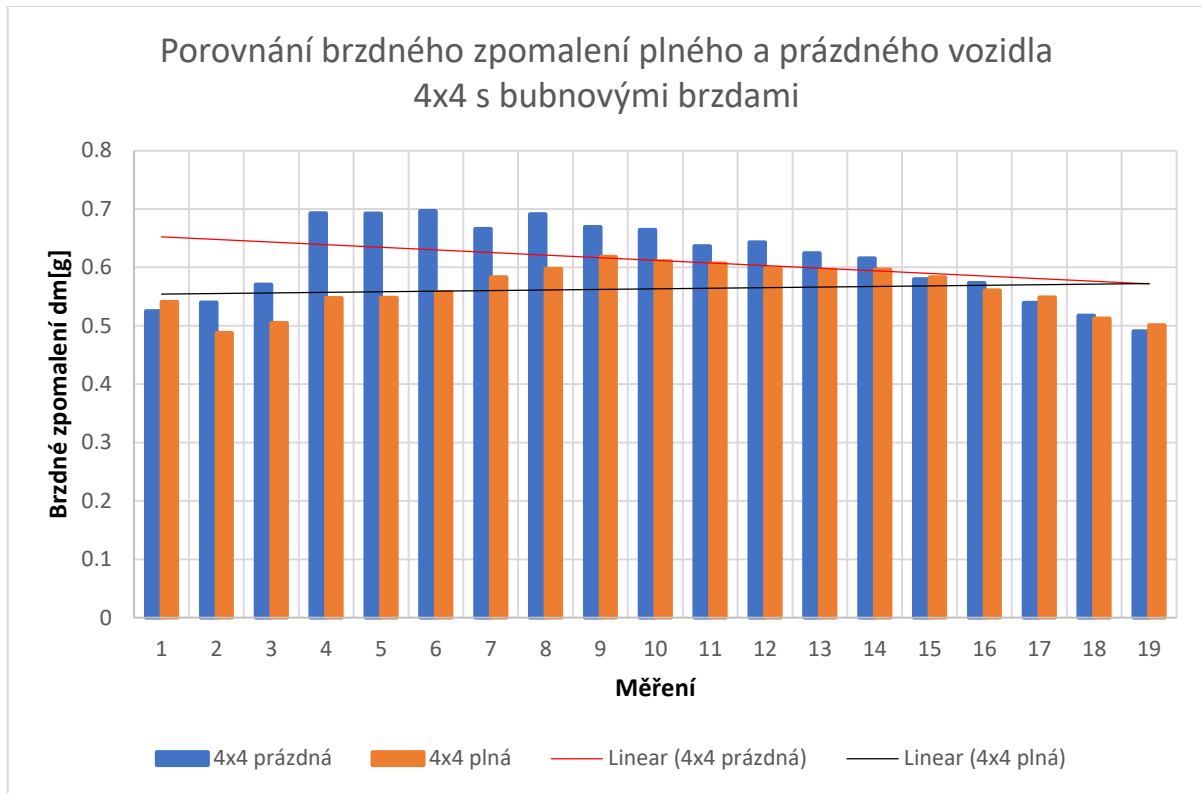
Brzdné zpomalení dle předpisu EHK 13-H musí u vozidel kategorie M2, M3, N1, N2 a N3 přesáhnout hodnotu $d_m = 0,51 \text{ g} = 5,0 \text{ m/s}^2$. Graf ukazuje, že této hodnoty se mi podařilo dosáhnout ve všech případech kromě vozidla 6x6 napuštěného kapalinou. **Nejlepšího** průměrného výsledku dosáhlo vozidlo s pohonem **4x4 a kotoučovými brzdami**, které dosáhlo na hodnotu 0,64 g. Tento výsledek je o 20% lepší než požadovaná norma předpisem EHK 13. Téměř identického výsledku dosáhlo vozidlo stejné specifikace, ovšem nenapuštěné kapalinou. Tento jev připisuji účinnosti a stálosti kotoučových brzd a vlivu teploty na jejich provozní vlastnosti.



Obr. 37 – graf porovnání brzdného zpomalení

11.1. Porovnání brzdného zpomalení – prázdné vs plné vozidlo

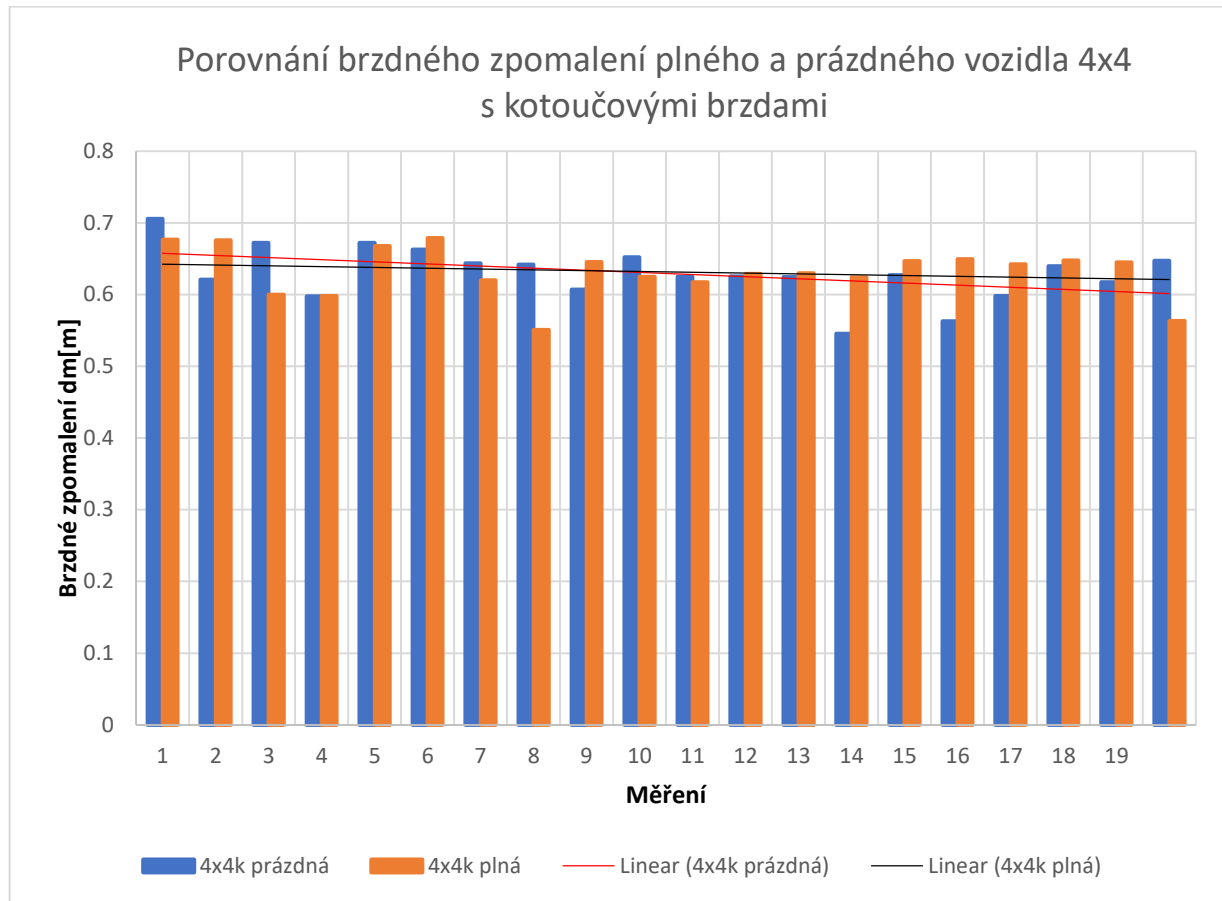
11.1.1. Vozidlo 4x4 – bubnová brzda



Obr. 38 – graf porovnání brzdného zpomalení vozidla 4x4 s bubnovými brzdami

Průběh brzdného zpomalení d_m velice připomíná ekvivalentní graf brzdné dráhy. U tohoto grafu platí že čím větší brzdné zpomalení vzniká při brzdném manévru, tím lépe. Vidíme, že nejvyšší hodnoty dosáhlo nenaplněné vozidlo, a to v měření č. 6, kdy hodnota d_m dosáhla hodnoty 0,6966 g. Celkový průběh d_m pak můžeme charakterizovat následovně. Z grafu lze odečíst že první 3 měření bylo brzdné zpomalení pod průměrem. Tento jev nejspíše nastal díky postupnému uvedení brzd do provozní teploty. V měření č. 4 – 14 (10 měření) se hodnota d_m držela mezi 0,6 – 0,7. Od 15 měření nastal prudší spád a za pouhých 4 měření už byla hodnota d_m pod požadovanou hranicí předpisem EHK-13 H. Plné vozidlo dosáhlo nejlepší hodnoty při měření č. 9, kdy hodnota $d_m = 0,6182$ g. Nad hodnotu 0,6 g se plné vozidlo dostalo pouze ve 3 měřeních, kdy tedy od 14. měření pozorujeme téměř identický průběh křivky s prázdným vozidlem.

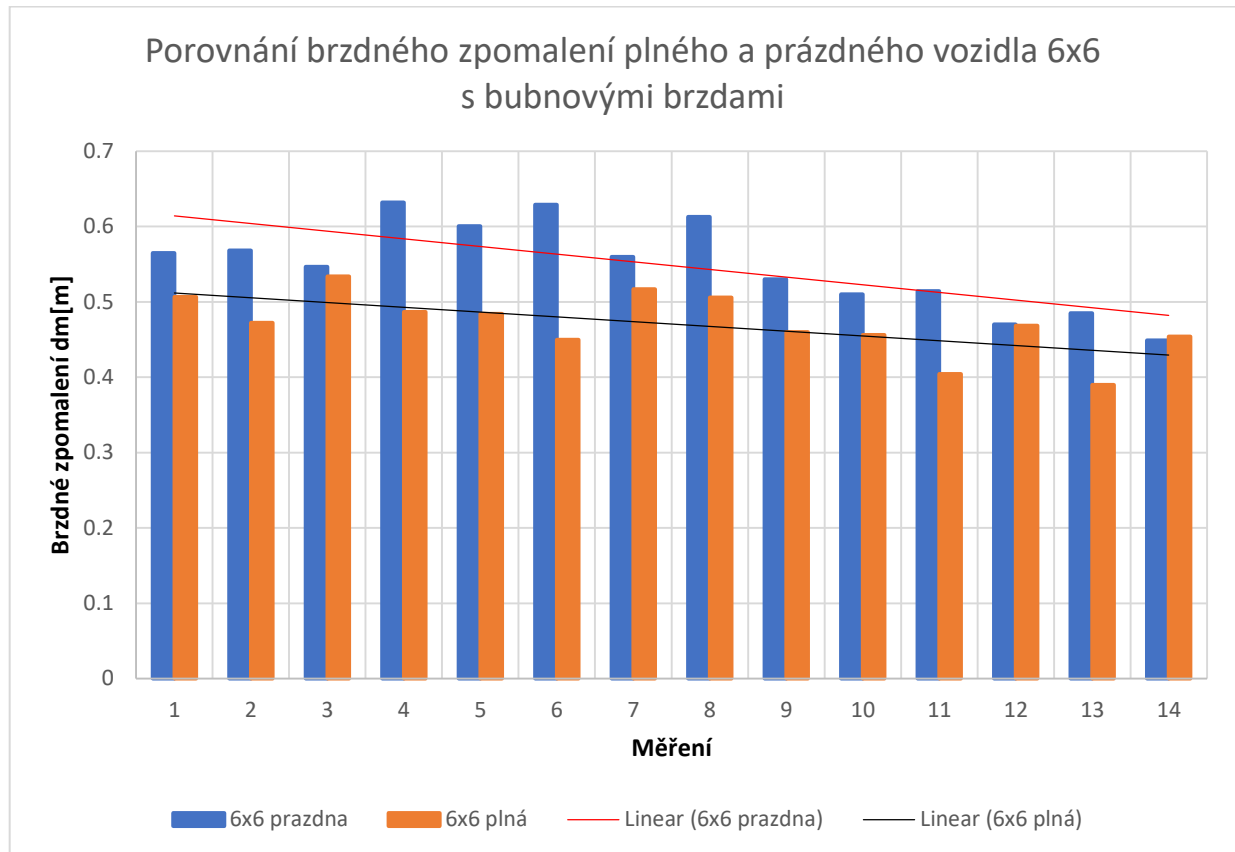
11.1.2. Vozidlo 4x4 – kotoučová brzda



Obr. 39 – graf porovnání brzdného zpomalení vozidla 4x4 (bubnová brzda)

U vozidla vybaveného kotoučovými brzdami pozorujeme oproti bubnové brzdě velmi odlišný průběh křivky. Křivka nemá téměř žádný náběh (kvůli zahřátí brzd) a drží si relativně vysokou hodnotu d_m po dobu všech měření. Vozidla vybavena kotoučovými brzdami dosáhla nejlepších průměrných výsledků brzdného zpomalení. Nejlepšího výsledku dosáhlo nenaplněné vozidlo hned v prvním měření, kdy se průměrná hodnota brzdného manévru d_m vyšplhala až na hodnotu 0,7058 g. Plné vozidlo dosáhlo nejlepšího výsledku v měření č. 6, kde průměr hodnoty brzdného zpomalení v daném manévru je $d_m = 0,6787$ g. V grafu si nelze nevšimnout několika propadů obou křivek. Tento jev byl nejspíše zapříčiněn lidským faktorem v kombinaci s nepřesností přístroje.

11.1.3. Vozidlo 6x6 – bubnová brzda



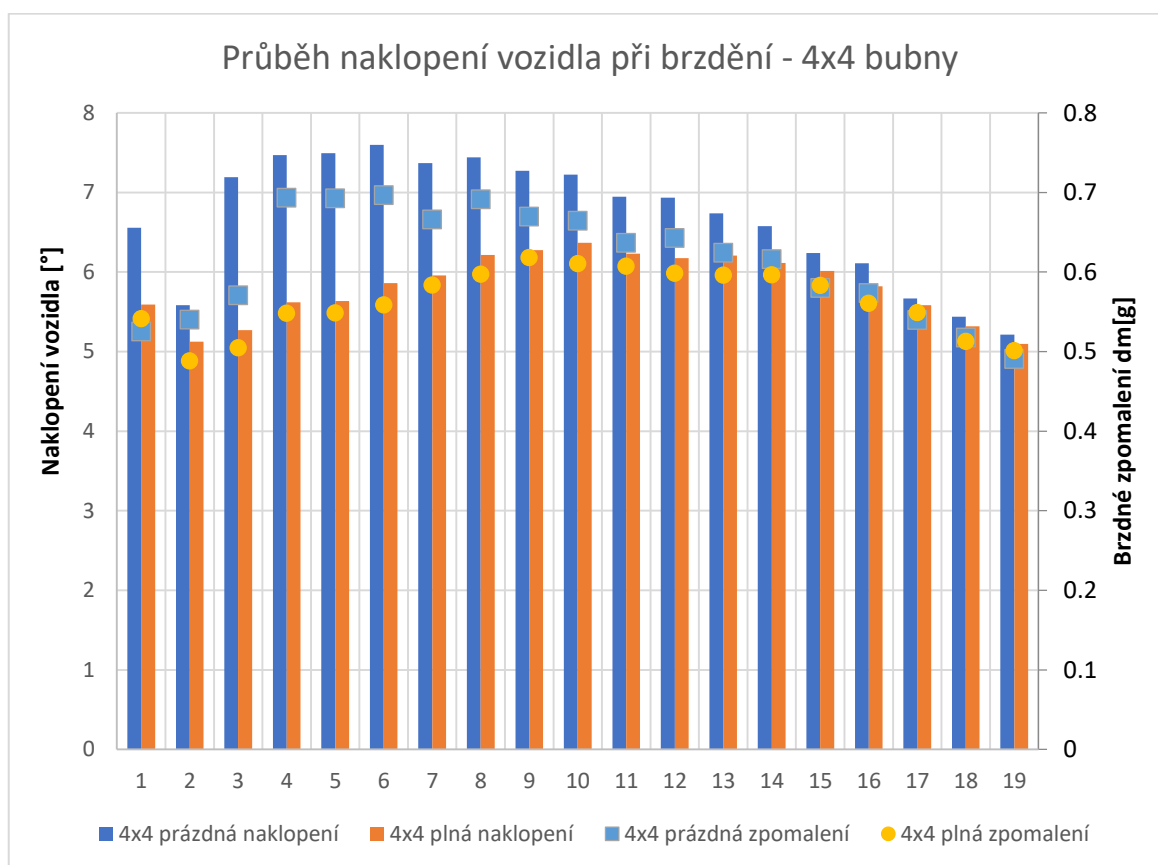
Obr. 40 – graf porovnání brzdného zpomalení vozidla 6x6

U vozidla 6x6, které je vybaveno bubnovými brzdami, dosáhlo nejlepšího průměrného výsledku prázdné vozidlo v měření č.4 kdy brzdné zpomalení d_m nabylo hodnoty 0,6317 g. Plné vozidlo dosáhlo na nejlepší výsledek malinko dříve, a to v měření č. 3 kdy průměrná hodnota d_m brzdného manévru vystoupila na hodnotu 0,53 g. V případě plného vozidla typu 6x6 jsem se při vypočtení průměrné hodnoty brzdného zpomalení ze všech provedených měření nedostal nad požadovanou hodnotu 0,5 g, kterou stanovuje předpis EHK 13-H.

12. Naklopení vozidla

Měřicí přístroj Racelogic díky dvěma anténám na střeše vozidla měří i podélné naklopení vozidla při brzdném úkonu. Průměrné dosažené naklopení vozidel při jednotlivých brzdných manévrech si ukážeme na následujících grafech:

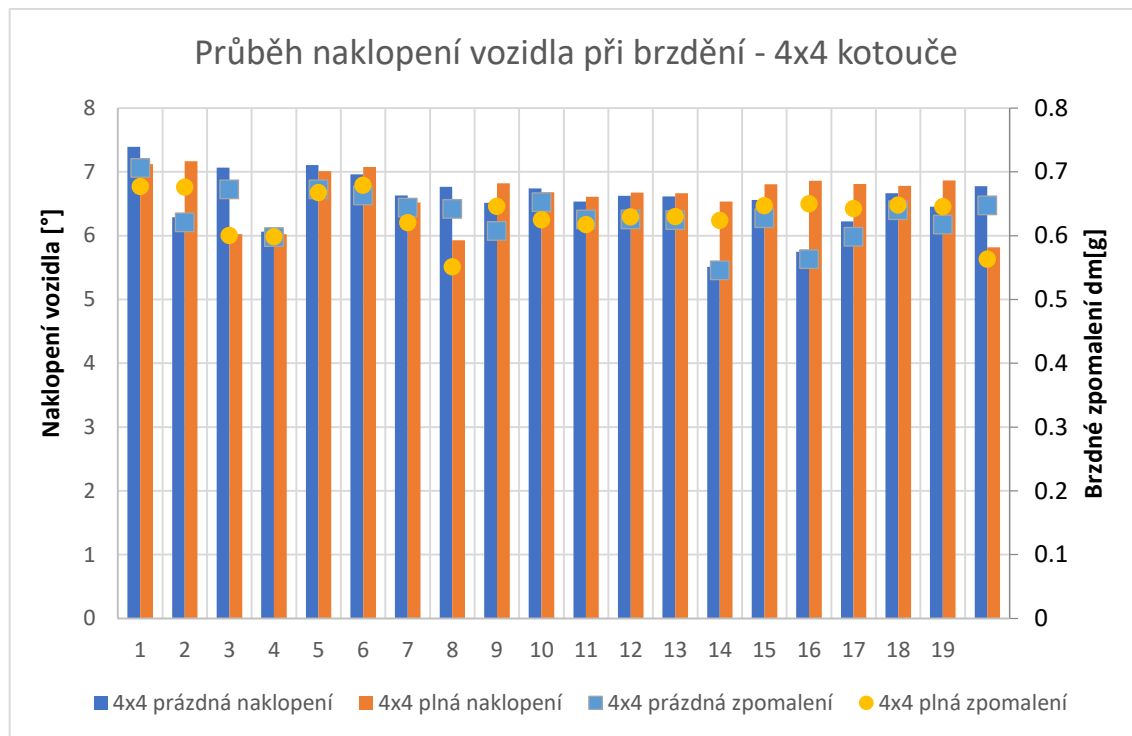
12.1. Vozidlo 4x4 – bubnová brzda



Obr. 41 – graf průběhu naklopení vozidla 4x4 s bubnovými brzdami při brzdění

U tohoto typu vozidla se největšího průměrného naklopení dosáhlo při měření č. 6, kdy hodnota nabyla $7,59^\circ$. Od tohoto měření už naklopení při dalších měřeních pouze klesalo, a to díky zahřátí brzd. Tím se samozřejmě zvýšila i potřebná brzdná dráha k zastavení a snížilo se brzdné zpomalení. Na grafu naklopení vozidla lze krásně pozorovat vadnutí brzd při jejich zahřátí. Pro porovnání jsem do grafu přidal i odpovídající průměry brzdného zpomalení d_m . Lze tak zároveň zřetelně pozorovat závislost brzdného zpomalení na korespondujícím naklopení vozidla. Průměrné naklopení prázdného vozidla bylo $6,68^\circ$. Plné vozidlo dosáhlo průměrné hodnoty $5,26^\circ$.

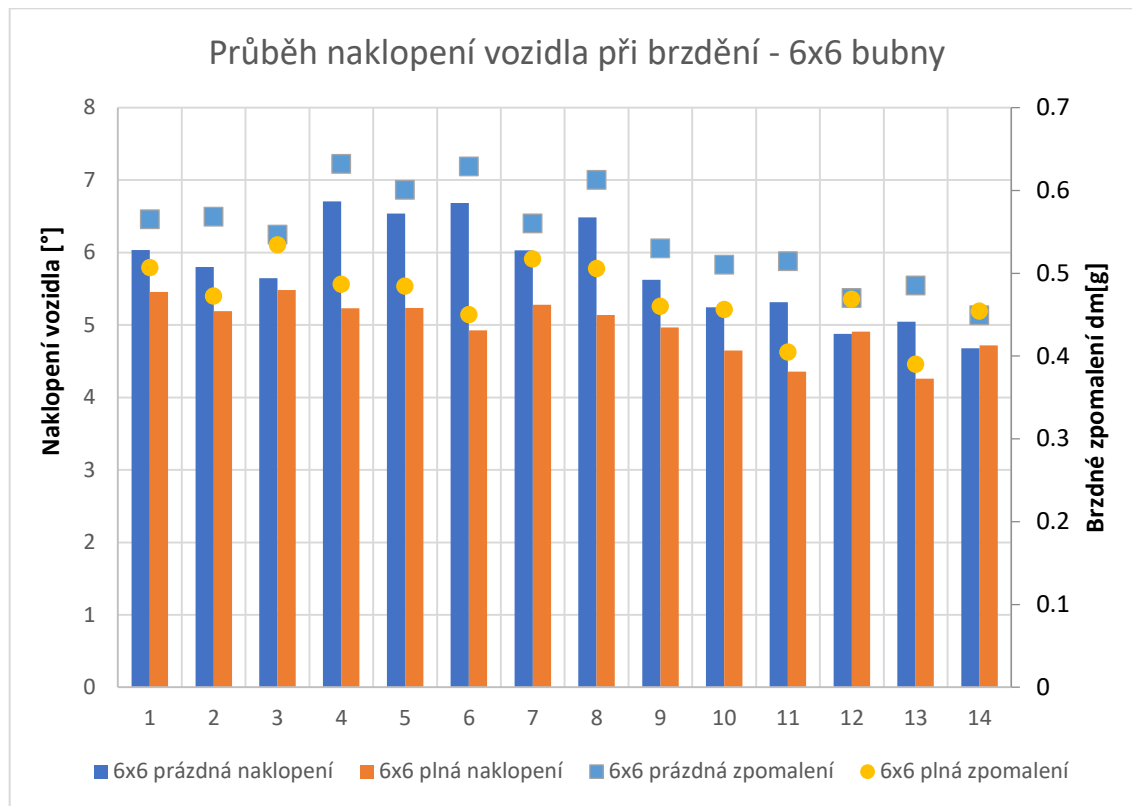
12.2. Vozidlo 4x4 – kotoučová brzda



Obr. 42 – graf průběhu naklopení vozidla 4x4 s kotoučovými brzdami při brzdění

U vozidla s kotoučovými brzdami sledujeme diametrálně odlišný průběh než u vozidla s brzdami bubnovými. Graf je mnohem více vyrovnaný a rozdíly mezi plným a prázdným vozidlem jsou mnohem menší. Průměrné naklopení prázdného vozidla bylo $6,56^\circ$ a průměrné naklopení plného pak $6,64^\circ$. Rozdíl mezi vozidly tedy činil pouhých $0,08^\circ$. Maximálního průměrného naklopení dosáhlo prázdné vozidlo hned při prvním měření, a to hodnoty $7,39^\circ$. Plné vozidlo dosáhlo jeho průměrného maxima hned v dalším měření, kdy hodnota dosáhla $7,16^\circ$ podélného naklopení.

12.3. Vozidlo 6x6 – bubnová brzda



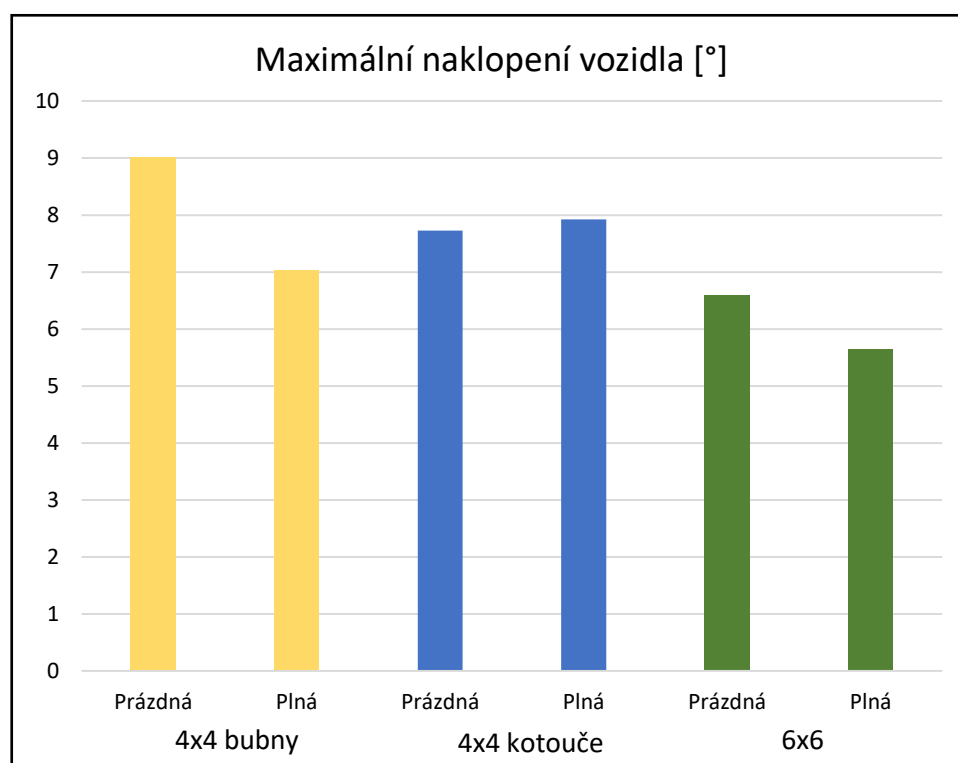
Obr. 43 – graf průběhu naklonění vozidla 6x6 s bubnovými brzdami při brzdění

Při měření vozidla s pohonem 6x6 se potvrdil můj předpoklad, že díky vyšší váze na zadní části vozidla právě kvůli třetí nápravě bude naklonění vozidla ze všech tří verzí nejmenší. Maximálního naklonění dosáhlo vozidlo ve 4. měření když nebylo naplněno kapalinou. Plné vozidlo nepřesáhlo hodnotu 5,5°. Nejvíce se jí přiblížilo v měření č. 3 s hodnotou 5,48°. Opět zde pozorujeme trend snižování brzdného zpomalení, tím pádem i podélného naklonění vozidla díky snižujícímu se účinku brzd při jejich zahřátí nad provozní teplotu.

12.4. Porovnání maximálního naklopení vozidel

Tabulka 8 – naklopení vozidla

| Podélné naklopení vozidla | | Max [°] | Průměr [°] |
|---------------------------|---------|----------|------------|
| 4x4 bubny | Prázdná | 9.01106 | 6.6868964 |
| | Plná | 7.038899 | 5.2621327 |
| 4x4 kotouče | Prázdná | 7.726507 | 6.5626297 |
| | Plná | 7.92451 | 6.6403213 |
| 6x6 bubny | Prázdná | 6.585563 | 5.3625325 |
| | Plná | 5.639098 | 4.7700182 |



Obr. 44 – grafické znázornění maximálního naklopení vozidla při brzdění

13. Závěr

Hlavním cílem této práce bylo vyhodnotit rozdíly mezi jednotlivými vozidly různých typů a porovnat je mezi sebou. EHK předpis jak brzdné dráhy, tak brzdného zpomalení splnily všechny typy vozidel bez větších potíží. Z měření které jsem měl k dispozici mi vyšlo, že nejlepšího průměrného výsledku v brzdné dráze dosáhlo vozidlo typu 4x4 vybavené bubnovými brzdami, které však nebylo naplněno kapalinou. Brzdná dráha, které vozidlo dosáhlo byla 22,37 metru, což je oproti EHK předpisu, který určuje maximální dovolenou brzdnou dráhu o délce 36,7 metru, kratší o 14,33 metru. Vozidlo bylo tedy schopno zastavit více než o třetinu dříve. V porovnání, vozidlo stejného typu, které bylo naplněno hasící kapalinou bylo schopno zastavit za 25,99 metru. Naplnění vozidla tedy vyrobilo rozdíl v brzdné dráze který představuje 3,62 metru. V těsném závěsu následovalo vozidlo se stejným pohonem, tedy 4x4, které bylo vybaveno brzdami kotoučovými. Nenaplněno hasící kapalinou dosáhlo brzdné dráhy 22,71 metru. Když bylo vozidlo plně naloženo, včetně kapaliny, brzdá dráha stoupla na 22,94 metru. Rozdíl mezi vozidlem bez kapaliny a s kapalinou byl tedy 0,23 metru. Tento výsledek poukazuje na účinnost a hlavně na konzistentnost kotoučových brzd v porovnání s bubnovými brzdami. Podle brzdné dráhy vozidel si lze všimnout jistého jevu. U vozidla s kotoučovými brzdami byl rozdíl pouhých 0,23 metru, u vozidla se stejným pohonem, které ale bylo vybaveno brzdami bubnovými byl rozdíl 15x tak větší. Vzhledem k tomu, že vozidla jsou identická a jediný rozdíl je tedy v konstrukci brzd, přisuzuji tento rozdíl tomu, že při větším zatížení brzdové plochy se brzdy více hřejí. U kotoučových brzd, díky jejich konstrukci, se vzniknuté teplo odvětrá mnohem lépe a rychleji a brzdy tak nedosáhnou tak vysoké teploty a nezačnou vadnout. Tím že je bubnová brzda uzavřená, odvětrat ji nelze tak snadno. Tím pádem se zahřeje víc než kotoučová a při vyšší teplotě začne vadnout její účinek. Posledním v porovnání bylo vozidlo s pohonem 6x6 vybavené bubnovými brzdami. Nenaplněné hasící kapalinou dosáhlo brzdné dráhy o délce 26,36 metru. Když byla do vozidla dopumpována kapalina, brzdá dráha se zvýšila na 31,07 metru. Rozdíl mezi prázdným a plným vozidlem tedy činí 4,71 metru. Vozidlo má delší brzdnou dráhu než jeho verze 4x4 hlavně z toho důvodu, že přidání další hnací nápravy spolu s lepší trakcí v terénu přináší i zvýšení hmotnosti. Můžeme zde pozorovat rovněž větší rozdíl v brzdné dráze plného a prázdného vozidla, tento jev přisuzuji opět tomu, že vozidlo je vybaveno bubnovými brzdami, které se při větší zátěži více zahřívají a tím ztrácí na brzdném účinku.

Brzdné zpomalení je EHK předpisem určeno na minimální hodnotu $\Delta v = 0,51$ g. Této hodnoty dosáhly všechny vozidla kromě vozidla 6x6 naplněného kapalinou. Jednoznačně nejlepších výsledků i zde dosáhlo vozidlo 4x4 s kotoučovými brzdami, které jak prázdné, tak naplněné kapalinou mělo rozptyl 0,05 u prázdného vozidla, a 0,09 u plného vozidla. Tento jev ukazuje, že vozidlo bylo v průběhu celého měření stabilní, předvídatelné a spolehlivé. Tyto vlastnosti patří u vozidel záchranných složek mezi jedny z nejdůležitějších.

Největších výkyvů při měření podélného naklonění vozidla dosáhlo vozidlo 4x4 s bubnovými brzdami. Jeho průměrný podélný náklon při brzdění dosáhl hodnoty $9,01^\circ$. Průměrná hodnota byla $6,68^\circ$ u prázdného vozidla a $5,26^\circ$ u plného vozidla. Naopak nejstabilnější z měření vyšlo vozidlo osazené brzdami kotoučovými. Maximální hodnota naklonění zde byla dosažena v případě plného vozidla a byla rovna $7,92^\circ$. Maximum prázdného vozidla bylo jen o $0,2^\circ$ nižší. V průměru byly obě vozidla nejvíce nakloněny o $6,6^\circ$. Díky tomuto výsledku bych určitě doporučil další vývoj hlavně v oblasti zdokonalování kotoučových brzd pro tento typ vozidel, protože stabilita a konzistentnost jsou jedny z důležitějších vlastností, na úkor například délky používání nebo pořizovací ceny.

14. Seznam použité literatury

- [1] VLK, F. Podvozky. 1. vyd. Nakladatelství a zasílatelství VLK, Brno 2006. ISBN 80-239-6464-X)
- [2] JAN, Z.; ŽDÁNSKÝ, B. Automobily 1-Podvozky. 1.vyd. Brno: Nakladatelství Avid s.r.o. Brno 2000
- [3] RICHTÁŘ PH.D., Ing. Michal a Ing. Jakub ŠMIRAUS PH.D. Silniční Vozidla II. Ostrava, 2018. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Univerzita Pardubice.
- [4] Vozidlo TATRA T 815 - 231R55 19.325.4x4.2/410. Tatra [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: www.tatra.cz
- [5] Matějka, R. Vozidla silniční dopravy I. Bratislava: Alfa Bratislava, 1990. ISBN 80-05-00392-7.
- [6] Matějka, R. Vozidla silniční dopravy II. Bratislava: Alfa Bratislava, 1990. ISBN 80-7100-074-4.
- [7] Performance Box - Lap Timer, Speedometer, Accelerometer [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <https://www.vboxmotorsport.co.uk/index.php/en/products/performance-meters/performancebox>
- [8] Dohoda o přijetí jednotlivých technických pravidel pro kolová vozidla, zařízení a části, které se mohou montovat a/nebo užívat na kolových vozidlech a o podmínkách pro vzájemné uznávání homologací, udělených na základě těchto pravidel. In: . Ženeva: Organizace spojených národů, 2011, 13-H.
- [9] SCHOVÁNEK, Petr a Vítězslav HAVRÁNEK. Chyby a nejistoty měření. Doplnující text k laboratornímu cvičení.
- [10] KAŠPAROVÁ, Bc. Hana. MERENÍ ZPOMALENÍ NÁKLADNÍCH AUTOMOBILU DO 12 TUN PRI BRZDENÍ MOTOREM. Brno, 2014. Diplomová Práce. Vysoké Učení Technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Albert Bradáč Ph.D.

15.Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat panu Ing. Michalu Richtáři Ph. D. za poskytnutou pomoc a komunikaci v době Covid-19, za poskytnutí potřebných materiálů a literatury a osobní rady a připomínky k mé práci. Také bych chtěl poděkovat škole za poskytnutí měřicího přístroje a vlídnému postoji k odložení mé DP kvůli potížím při měření.